

**PENGARUH KONFIGURASI TULANGAN LONGITUDINAL DARI
METODE JAKET BETON BERTULANG BAMBU DENGAN
SENGKANG BAJA PADA KOLOM BETON BERTULANG**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2018**

LEMBAR PENGESAHAN**PENGARUH KONFIGURASI TULANGAN LONGITUDINAL DARI
METODE JAKET BETON BERTULANG BAMBU DENGAN
SENGKANG BAJA PADA KOLOM BETON BERTULANG****SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

**JEVRI HERLAMBAANG****NIM. 145060101111010**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 2 Juli 2018

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac.)

NIP. 19810220 200604 1 002

Christin Remayanti N., ST., MT

NIP. 19840325 201504 2 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac.)

NIP. 19810220 200604 1 002

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

JUDUL SKRIPSI:

PENGARUH KONFIGURASI TULANGAN LONGITUDINAL DARI METODE JAKET
BETON BERTULANG BAMBU DENGAN SENGKANG BAJA PADA KOLOM
BETON BERTULANG

Nama Mahasiswa : Jevri Herlambang

NIM : 145060101111010

Program Studi : Teknik Sipil

Minat : Struktur

TIM DOSEN PENGUJI

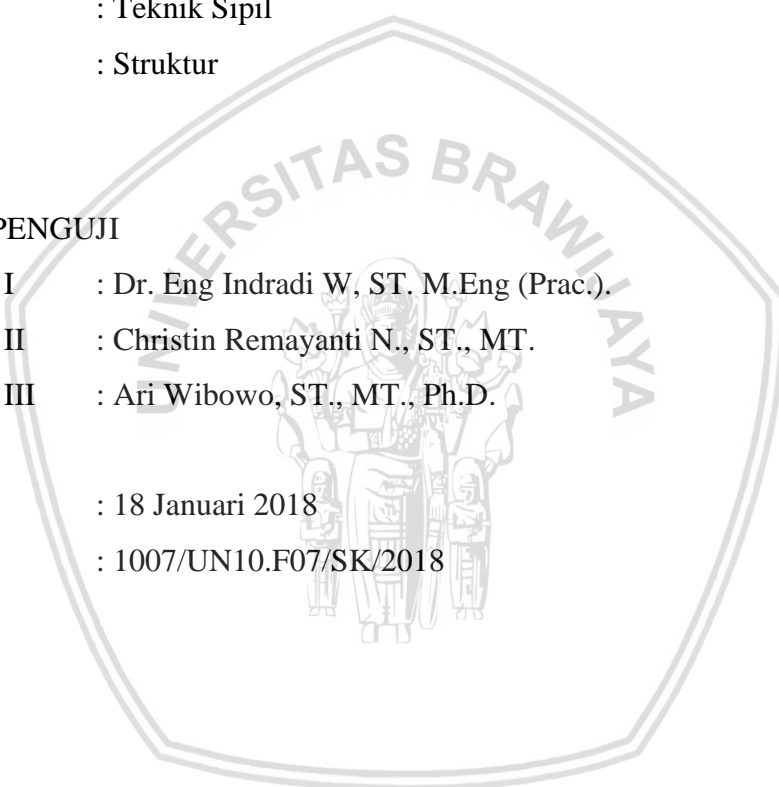
Dosen Penguji I : Dr. Eng Indradi W, ST, M.Eng (Prac.).

Dosen Penguji II : Christin Remayanti N., ST., MT.

Dosen Penguji III : Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D.

Tanggal Ujian : 18 Januari 2018

SK Penguji : 1007/UN10.F07/SK/2018



PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

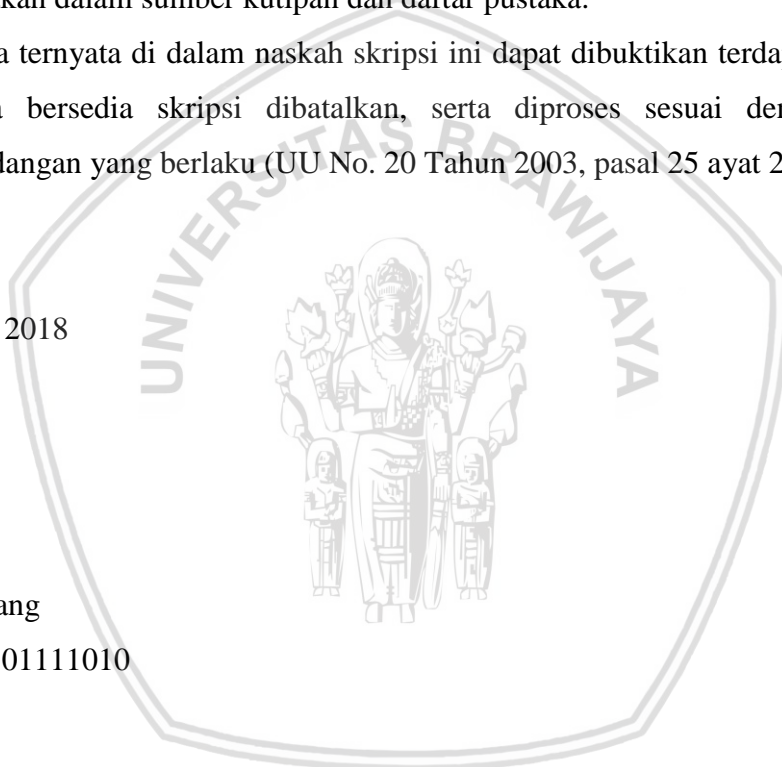
Apabila ternyata di dalam naskah skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 2 Juli 2018

Mahasiswa,

Jevri Herlambang

NIM. 145060101111010



RIWAYAT HIDUP

Jevri Herlambang lahir di Blitar, 31 Januari 1997. Anak dari Bapak Pamuj M.B. dan Ibu Suraharti. Lulus SD di SDN 03 Tapakrejo tahun 2008. Setelah itu lulus SMP di SMPN 1 Kesamben tahun 2011. Selanjutnya lulus SMA di SMAN 1 Talun tahun 2014. Kemudian melanjutkan studi di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang dan lulus tahun 2018.

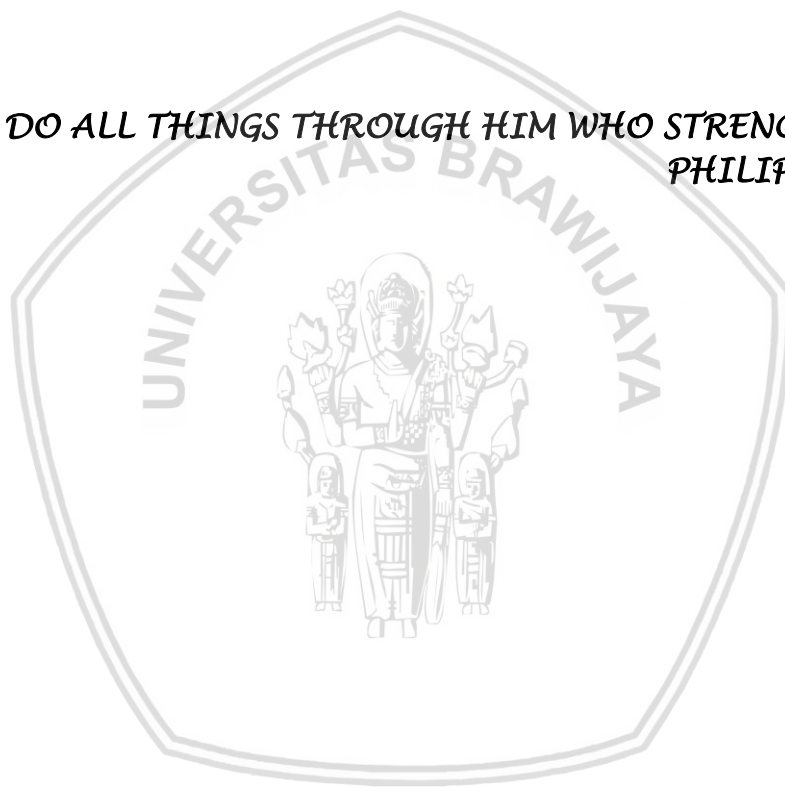
Selama menjalani studi di Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang penulis pernah menjadi anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Brawijaya pada tahun 2015 dan 2016.

Malang, 2 Juli 2018

Penulis



"I CAN DO ALL THINGS THROUGH HIM WHO STRENGTHENS ME"
PHILIPPIANS 4:13



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi yang berjudul **“PENGARUH KONFIGURASI TULANGAN LONGITUDINAL DARI METODE JAKET BETON BERTULANG BAMBU DENGAN SENGKANG BAJA PADA KOLOM BETON BERTULANG”** dapat diselesaikan dengan baik dan lancar. Penulisan skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar **Sarjana Teknik** di **Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya**.

Skripsi ini dapat diselesaikan berkat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, untuk penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak **Dr. Eng. Alwafi Pujiraharjo., ST., MT.**, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
2. Bapak **Dr. Eng Indradi W., ST, M.Eng (Prac)** selaku Dosen Pembimbing I.
3. Ibu **Christin Remayanti N., ST., MT.**, selaku Dosen Pembimbing II.
4. Bapak **Ari Wibowo, ST., MT., Ph.D** yang juga membantu dan memberikan saran kepada saya dalam menyusun skripsi ini.
5. **Dr. Ir. Wisnumurti., MT.**, selaku KKJF Struktur
6. Ibu **Prof. Indra Waluyohadi, ST., MT., M.Sc** selaku Dosen Penasehat Akademik.
7. **Keluarga saya** yang telah mendoakan dan memberikan semangat kepada saya dalam menyelesaikan skripsi.
8. **Tim PENGABDI SKRIPSI** (Kelompok Penelitian Kolom Retrofit) yang terdiri dari saya, Gilang Edo, Rizky Adhi , Redita Putri, Ruth Navratilova, Rudi Yulianto, dan Samuel Wiliartha.
9. **Keluarga Besar Mahasiswa Sipil Universitas Brawijaya**, khususnya teman-teman Teknik Sipil 2014 yang memberikan dukungan dan semangat selama penelitian ini berlangsung Keluarga Besar Mahasiswa Sipil Teknik Sipil Universitas Brawijaya.

Saya menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, saya berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Malang, **15 Januari 2018**

Jevri Herlambang

(halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
RINGKASAN.....	xix
SUMMARY	xxi
DAFTAR SIMBOL	xxiii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Tujuan	3
1.6 Manfaat	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Beton	5
2.1.1 Material Penyusun Beton	6
2.1.2 Sifat-sifat Beton.....	7
2.2 Beton Bertulang	8
2.2.1 Kelebihan dan Kekurangan Beton Bertulang	9
2.2.2 Tegangan dan Regangan pada Beton Bertulang.....	10
2.2.3 Hubungan Tegangan dan Regangan pada Beton Bertulang	11
2.3 Baja Tulangan.....	12
2.3.1 Baja Tulangan Polos (<i>Plain Bar</i>)	12

2.3.2 Baja Tulangan Ulir (<i>Deformed Bar</i>)	13
2.4 Tulangan Longitudinal	13
2.5 Bambu	14
2.5.1 Kuat Tarik Bambu	16
2.5.2 Kuat Tekan Bambu	18
2.5.3 Daya Lekat Bambu	19
2.5.4 Perlakuan pada Bambu sebagai Tulangan	20
2.6 Kolom	21
2.6.1 Jenis Kolom	22
2.6.2 Kolom Pendek dengan Beban Aksial	23
2.7 Daktilitas	24
2.8 Kekakuan	25
2.9 Perkuatan Kolom dengan Metode <i>Concrete Jacketing</i>	18
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	29
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	29
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	29
3.2.1 <i>Pozzolan Portland Cement</i>	29
3.2.2 Agregat	29
3.2.3 Air	29
3.2.4 Tulangan Baja	30
3.2.5 Tulangan Bambu	30
3.2.6 Bahan Perekat Beton	30
3.3 Peralatan Penelitian	30
3.3.1 Saringan	30
3.3.2 Timbangan	30
3.3.3 Mesin Pengaduk Beton	31
3.3.4 Cetakan Benda Uji	31

3.3.5 Alat Uji Tekan	31
3.3.6 <i>Dial Gauge Digital</i>	31
3.3.7 Alat Bantu Lainnya.....	31
3.4 Tahapan Penelitian	32
3.5 Rancangan Penelitian	33
3.6 Variable Penelitian	40
3.7 Prosedur Penelitian	40
3.7.1 Pengujian Bahan Dasar.....	40
3.7.2 Pembuatan Benda Uji	40
3.7.3 Perawatan Benda Uji	41
3.7.4 Pengujian Kuat Tekan	41
3.7.5 Pengujian Kuat Tarik.....	43
3.8 Metode Analisis	44
3.8.1 Pengumpulan Data.....	44
3.8.2 Pengolahan Data	45
3.9 Hipotesis Penelitian	53
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN	55
4.1 Analisa Bahan.....	55
4.1.1 Agregat Kasar.....	55
4.1.2 Agregat Halus	55
4.1.3 Air	55
4.1.4 Baja Tulangan.....	55
4.2 Campuran Beton	56
4.3 Pengujian Beton Segar.....	56
4.4 Pengujian Benda Uji Beton Silinder.....	58
4.5 Proses Perawatan	62
4.6 Pembahasan	62

4.6.1 Kuat Beban Aksial Kolom Asli dan Kolom Retrofit	62
4.6.2 Grafik Kekakuan Kolom Asli dan Kolom Retrofit	68
4.6.2.1 Kolom Asli A.3 dengan Kolom Retrofit A.3	71
4.6.2.2 Kolom Asli B.3 dengan Kolom Retrofit B.3	77
4.6.2.3 Kolom Asli C.3 dengan Kolom Retrofit C.3	84
4.6.2.4 Kolom Asli D.3 dengan Kolom Retrofit D.3	92
4.6.3 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Kolom Asli dan Kolom Retrofit	97
4.6.3.1 Kolom Asli A.3 dengan Kolom Retrofit A.3	101
4.6.3.2 Kolom Asli B.3 dengan Kolom Retrofit B.3	107
4.6.3.3 Kolom Asli C.3 dengan Kolom Retrofit C.3	114
4.6.3.4 Kolom Asli D.3 dengan Kolom Retrofit D.3	122
4.7 Daktilitas Kolom Asli dan Kolom Retrofit	128
4.7.1 Daktilitas Kolom Asli A.3 dan Kolom Retrofit A.3	129
4.7.2 Daktilitas Kolom Asli B.3 dan Kolom Retrofit B.3	130
4.7.3 Daktilitas Kolom Asli C.3 dan Kolom Retrofit C.3	131
4.7.4 Daktilitas Kolom Asli D.3 dan Kolom Retrofit D.3	131
4.8 Analisis Efektifitas Kolom Retrofit.....	133
4.8.1 Analisi Efektifitas Kolom Retrofit A.3 dengan Kolom Retrofit B.3	133
4.8.2 Analisi Efektifitas Kolom Retrofit C.3 dengan Kolom Retrofit D.3	139
BAB 5 PENUTUP.....	145
5.1 Kesimpulan.....	145
5.2 Saran	146
DAFTAR PUSTAKA	147
LAMPIRAN	149

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Kelas dan mutu beton.....	6
Tabel 2.2	Tegangan tarik bambu.....	15
Tabel 2.3	Tegangan tarik bambu bagian dalam dan bagian luar	15
Tabel 2.4	Rentang frekuensi gelombang mekanik longitudinal	17
Tabel 2.5	Tegangan tarik bambu kering oven tanpa nodia dan dengan nodia.....	17
Tabel 2.6	Kuat tekan bambu petung	19
Tabel 3.1	Rancangan penelitian kolom retrofit dengan variasi jumlah dan dimensi tulangan longitudinal	33
Tabel 3.2	Jumlah benda uji	34
Tabel 3.3	Form pengumpulan data dari pengujian kuat tekan kolom asli dan kolom retrofit.....	44
Tabel 3.4	Form pengumpulan data dari pengujian kuat tekan beton silinder untuk sampel kolom asli dan kolom retrofit	45
Tabel 3.5	Form pengumpulan data dari pengujian kuat tekan kolom asli dan kolom retrofit	45
Tabel 3.6	Form pengumpulan data dari pengujian kuat tarik tulangan baja Ø6 mm dan Ø8 mm	45
Tabel 3.7	Form pengolahan data dari pengujian kuat tekan kolom asli dan kolom retrofit	46
Tabel 3.8	Form perbandingan kuat beban aksial nominal kolom secara teoritis dengan kuat tekan beban aksial ultimate secara aktual kolom asli	46
Tabel 3.9	Form perbandingan kuat beban aksial nominal kolom teoritis dengan kuat tekan beban aksial ultimate secara aktual kolom retrofit	47
Tabel 3.10	Form pengolahan data hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit	47

Tabel 3.11	Form pengolahan data rata-rata dari hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit.....	47
Tabel 3.12	Form hasil pengolahan data kekakuan dan modulus elastisitas kolom asli dan kolom retrofit	48
Tabel 4.1	Uji Tulangan Baja.....	56
Tabel 4.2	Tabel hasil uji slump beton benda uji silinder uji kolom asli	57
Tabel 4.3	Tabel Hasil Uji Slump Beton Benda Uji Silinder Kolom Retrofit	57
Tabel 4.4	Hasil uji kuat tekan beton benda uji silinder kolom asli.....	59
Tabel 4.5	Hasil uji kuat tekan beton benda uji silinder kolom retrofit	59
Tabel 4.6	Tabel hasil perbandingan kuat beban aksial nominal teoritis dan ultimate aktual kolom asli.....	63
Tabel 4.7	Tabel hasil perbandingan kuat beban aksial nominal teoritis dan ultimate aktual kolom retrofit	64
Tabel 4.8	Tabel data kekakuan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit.....	69
Tabel 4.9	Tabel data rata –rata kekakuan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit.....	69
Tabel 4.10	Tabel data rata –rata hasil uji tekan kolom asli A.3	71
Tabel 4.11	Tabel data rata –rata hasil uji tekan kolom retrofit A.3	72
Tabel 4.12	Tabel data rata –rata hasil uji tekan kolom asli B.3.....	77
Tabel 4.13	Tabel data rata –rata hasil uji tekan kolom retrofit B.3	78
Tabel 4.14	Tabel data rata –rata hasil uji tekan kolom asli C.3.....	84
Tabel 4.15	Tabel data rata –rata hasil uji tekan kolom retrofit C.3	85
Tabel 4.16	Tabel data rata –rata hasil uji tekan kolom asli D.3	92
Tabel 4.17	Tabel data rata –rata hasil uji tekan kolom retrofit D.3	91
Tabel 4.18	Tabel data modulus elastisitas hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit.....	99
Tabel 4.19	Tabel data rata –rata modulus elastisitas hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit.....	99

Tabel 4.20	Tabel data rata –rata hasil tegangan regangan kolom asli A.3	101
Tabel 4.21	Tabel data rata –rata hasil tegangan regangan kolom Retrofit A.3.....	102
Tabel 4.22	Tabel data rata –rata hasil tegangan regangan kolom asli B.3.....	107
Tabel 4.23	Tabel data rata –rata hasil tegangan regangan kolom retrofit B.3	108
Tabel 4.24	Tabel data rata –rata hasil tegangan regangan kolom asli C.3.....	114
Tabel 4.25	Tabel data rata –rata hasil tegangan regangan kolom retrofit C.3	115
Tabel 4.26	Tabel data rata –rata hasil tegangan regangan kolom asli D.3	122
Tabel 4.27	Tabel data rata –rata hasil tegangan regangan kolom retrofit D.3	123
Tabel 4.28	Tabel hasil analisis nilai daktilitas kolom asli dan kolom retrofit	129
Tabel 4.29	Tabel rekapitulasi data-data kolom asli dan kolom retrofit.	132
Tabel 4.30	Tabel persentase perubahan gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas kolom asli dan kolom retrofit	133
Tabel 4.31	Tabel perbandingan hasil penelitian kolom retrofit A.3 dengan B.3.....	135
Tabel 4.32	Tabel perbandingan hasil penelitian kolom retrofit C.3 dengan D.3.....	140

(halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Hubungan tegangan-regangan beton.....	5
Gambar 2.2	Kurva hubungan tegangan dan regangan pada beton bertulang	11
Gambar 2.3	Kurva tegangan-regangan tulangan baja beberapa mutu	11
Gambar 2.4	Kurva tegangan-regangan beton dan baja pada suatu elemen beton bertulang yang dibebani.....	12
Gambar 2.5	Tegangan-regangan baja.	13
Gambar 2.6	Diagram tegangan-regangan bambu dan baja.....	16
Gambar 2.7	Hubungan tegangan-regangan bambu dan baja	18
Gambar 2.8	Hubungan variasi tulangan bambu dengan kuat lekat	20
Gambar 2.9	Perilaku bambu yang tidak dilapisi kedap air	21
Gambar 2.10	Berbagai jeni kolom, (a) Kolom persegi, (b) Kolom bulat, (c) Kolom komposit.....	23
Gambar 2.11	Grafik gaya tekan dan deformasi material yang dibebani aksial	25
Gambar 2.12	Beberapa alternatif pengambilan lendutan pada titik leleh.....	26
Gambar 2.13	Tampak atas kolom dengan perkuatan <i>concrete jacketing</i>	28
Gambar 3.1	Diagram alir tahapan penelitian	32
Gambar 3.2	Benda uji kolom asli	35
Gambar 3.3	Benda uji kolom retrofit kode A.3	36
Gambar 3.4	Benda uji kolom retrofit kode B.3	37
Gambar 3.5	Benda uji kolom retrofit kode C.3	38
Gambar 3.6	Benda uji kolom retrofit kode D.3	39
Gambar 3.7	Pengujian kuat tekan kolom asli	42

Gambar 3.8	Pengujian kuat tekan kolom retrofit	43
Gambar 3.9	Pengujian kuat tarik tulangan baja.....	44
Gambar 3.10	Grafik perbandingan uji tekan beton silinder kolom asli dengan kolom retrofit.....	48
Gambar 3.11	Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum kolom asli secara teoritis dan aktual.....	49
Gambar 3.12	Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum kolo retrofit secara teoritis dengan aktual.....	49
Gambar 3.13	Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum kolom asli dengan kolom retrofit.....	50
Gambar 3.14	Grafik hubungan gaya tekan dan defleksi kolom asli.....	50
Gambar 3.15	Grafik hubungan tegangan dan regangan kolom asli	51
Gambar 3.16	Grafik hubungan gaya tekan dan defleksi kolom retrofit	51
Gambar 3.17	Grafik hubungan tegangan dan regangan kolom retrofit.....	52
Gambar 3.18	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dengan kolom retrofit	52
Gambar 3.19	Grafik perbandingan hasil tegangan dan regangan kolom asli dengan kolom retrofit.....	53
Gambar 4.1	Uji slump	57
Gambar 4.2	Uji tekan beton silinder.....	58
Gambar 4.3	Grafik perbandingan hasil uji tekan beton silinder kolom asli A dengan kolom retrofit A.	60
Gambar 4.4	Grafik perbandingan hasil uji tekan beton silinder kolom asli A dengan kolom retrofit B	61
Gambar 4.5	Grafik perbandingan hasil uji tekan beton silinder kolom asli A dengan kolom retrofit C	61

Gambar 4.6	Grafik perbandingan hasil uji tekan beton silinder kolom asli A dengan kolom retrofit D	62
Gambar 4.7	Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli A.3 dengan kolom retrofit A.3	66
Gambar 4.8	Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli A.3 dengan kolom retrofit B.3	66
Gambar 4.9	Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli A.3 dengan kolom retrofit C.3	67
Gambar 4.10	Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli A.3 dengan kolom retrofit D.3	67
Gambar 4.11	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.3.1 dengan kolom retrofit A.3.1	74
Gambar 4.12	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.3.2 dengan kolom retrofit A.3.2	75
Gambar 4.13	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.3.3 dengan kolom retrofit A.3.3	75
Gambar 4.14	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.3 dengan kolom retrofit A.3	76
Gambar 4.15	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.3.1 dengan kolom retrofit B.3.1	81
Gambar 4.16	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.3.2 dengan kolom retrofit B.3.2	81
Gambar 4.17	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.3.3 dengan kolom retrofit B.3.3	82
Gambar 4.18	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.3 dengan kolom retrofit B.3	82
Gambar 4.19	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.3.1 dengan kolom retrofit C.3.1	89

Gambar 4.20	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.3.2 dengan kolom retrofit C.3.2	89
Gambar 4.21	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.3.3 dengan kolom retrofit C.3.3	90
Gambar 4.22	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.3 dengan kolom retrofit C.3	90
Gambar 4.23	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.3.1 dengan kolom retrofit D.3.1	95
Gambar 4.24	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.3.2 dengan kolom retrofit D.3.2	96
Gambar 4.25	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.3.3 dengan kolom retrofit D.3.3	96
Gambar 4.26	Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.3 dengan kolom retrofit D.3	97
Gambar 4.27	Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli A.3.1 dengan kolom retrofit A.3.1	104
Gambar 4.28	Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli A.3.1 dengan kolom retrofit A.3.2	105
Gambar 4.29	Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli A.3.1 dengan kolom retrofit A.3.3	105
Gambar 4.30	Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli A.3 dengan kolom retrofit A.3	106
Gambar 4.31	Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli B.3.1 dengan kolom retrofit B.3.1	111
Gambar 4.32	Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli B.3.1 dengan kolom retrofit B.3.2	111
Gambar 4.33	Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli B.3.1 dengan kolom retrofit B.3.3	112

Gambar 4.34	Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli B.3 dengan kolom retrofit B.3.....	112
Gambar 4.35	Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli C.3.1 dengan kolom retrofit C.3.1.....	119
Gambar 4.36	Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli C.3.1 dengan kolom retrofit C.3.2.....	119
Gambar 4.37	Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli C.3.1 dengan kolom retrofit C.3.3.....	120
Gambar 4.38	Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli C.3 dengan kolom retrofit C.3.....	120
Gambar 4.39	Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli D.3.1 dengan kolom retrofit D.3.1.....	126
Gambar 4.40	Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli D.3.1 dengan kolom retrofit D.3.2.....	126
Gambar 4.41	Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli D.3.1 dengan kolom retrofit D.3.3.....	127
Gambar 4.42	Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli D.3 dengan kolom retrofit D.3.....	127
Gambar 4.43	Grafik analisis nilai daktilitas kolom asli A.3 dengan kolom retrofit A.3	129
Gambar 4.44	Grafik analisis nilai daktilitas kolom asli B.3 dengan kolom retrofit B.3	130
Gambar 4.45	Grafik analisis nilai daktilitas kolom asli C.3 dengan kolom retrofit C.3	131
Gambar 4.46	Grafik analisis nilai daktilitas kolom asli D.3 dengan kolom retrofit D.3	131
Gambar 4.47	Grafik perbandingan hasil gaya tekan, defleksi, dan kekakuan kolom retrofit A.3 dengan kolom retrofit B.3	134
Gambar 4.48	Grafik perbandingan hasil hubungan tegangan, regangan, dan modulus elastisitas kolom retrofit A.3 dengan kolom retrofit B.3	135
Gambar 4.49	Kolom retrofit A.3.1	136

Gambar 4.50	Kolom retrofit A.3.2	136
Gambar 4.51	Kolom retrofit A.3.3	137
Gambar 4.52	Kolom retrofit B.3.1	137
Gambar 4.53	Kolom retrofit B.3.2	138
Gambar 4.54	Kolom retrofit B.3.3	138
Gambar 4.55	Grafik perbandingan hasil gaya tekan, defleksi, dan kekakuan kolom retrofit C.3 dengan kolom retrofit D.3.....	139
Gambar 4.56	Grafik perbandingan hasil hubungan tegangan, regangan, dan modulus elastisitas kolom retrofit C.3 dengan kolom retrofit D.3.....	140
Gambar 4.57	Kolom retrofit C.3.1	141
Gambar 4.58	Kolom retrofit C.3.2	141
Gambar 4.59	Kolom retrofit C.3.3	142
Gambar 4.60	Kolom retrofit D.3.1	142
Gambar 4.61	Kolom retrofit D.3.2	143
Gambar 4.62	Kolom retrofit D.3.3	143

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran I.	Pemeriksaan dan Analisis Bahan Campuran Beton.....	149
Lampiran II.	Perhitungan Campuran dan Penentuan Kebutuhan Bahan	161
Lampiran III.	Data Hasil Uji Tarik Tulangan.....	177
Lampiran IV	Dokumentasi Penelitian	185



(halaman ini sengaja dikosongkan)



RINGKASAN

Jevri Herlambang, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2018, *Pengaruh Konfigurasi Tulangan Longitudinal Dari Metode Jaket Beton Bertulang Bambu Dengan Sengkang Baja Pada Kolom Beton Bertulang* Pembimbing : Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac.) dan Christin Remayanti N., ST., MT.

Struktur kolom merupakan elemen penting dalam suatu bangunan dan harus direncanakan dengan tepat. Beberapa faktor-faktor yang menyebabkan kegagalan kolom yaitu gempa atau beban berlebih. Perkembangan inovasi-inovasi dalam pembangunan konstruksi diantaranya inovasi perkuatan ataupun perbaikan struktur konstruksi. Salah satu metode yang digunakan untuk perkuatan atau perbaikan adalah metode jaket beton.

Pada penelitian ini, tulangan longitudinal pada kolom retrofit menggunakan material bambu. Bambu yang digunakan yaitu jenis bambu petung. Terdapat 4 jenis kolom retrofit yang akan diteliti, yakni kolom retrofit kode A.3 yang dipasang tulangan bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 10 x 10 mm, kolom retrofit kode B.3 yang dipasang tulangan bambu sebanyak 8 buah dengan ukuran 10 x 5 mm, kolom retrofit kode C.3 yang dipasang tulangan bambu sebanyak 4 buah ukuran 10 x 20 mm dan kolom retrofit kode D.3 yang dipasang tulangan bambu sebanyak 8 buah ukuran 10 x 10 mm. Jarak sengkang untuk ke empat kolom retrofit A.3, B.3, C.3, dan D.3 dipasang 9,3 cm. Pada penelitian ini dilakukan analisis efektivitas konfigurasi tulangan longitudinal pada kolom retrofit A.3 dengan kolom retrofit B.3 dan juga efektivitas konfigurasi tulangan longitudinal pada kolom retrofit C.3 dengan kolom retrofit D.3. Kolom akan diuji tekan dengan menggunakan *compression test machine* dan dipasang *dial gauge* sebagai alat bantu dalam membaca defleksi yang terjadi pada saat kolom diuji tekan.

Hasil penelitian didapatkan bahwa, kolom retrofit B.3 lebih efektif dibandingkan dengan kolom retrofit A.3. Hal ini dikarenakan dari hasil pengujian menunjukkan bahwa kolom retrofit A.3 memiliki nilai gaya tekan maksimum 291 kN sedangkan nilai gaya tekan maksimum kolom retrofit B.3 yaitu 361,2 kN. Kolom retrofit B.3 mempunyai nilai kekakuan sebesar 1394,3333 kN/mm, nilai modulus elastisitas sebesar 12,9105 kN/mm², dan nilai daktilitas sebesar 44,3. Sedangkan kolom retrofit A.3 memiliki nilai kekakuan sebesar 1105 kN/mm, nilai modulus elastisitas 10,2315 kN/mm², dan nilai daktilitas sebesar 39,3. Kemudian untuk hasil penelitian kolom retrofit C.3 lebih efektif dibandingkan dengan kolom retrofit D.3. Hal ini dikarenakan dari hasil pengujian menunjukkan bahwa kolom retrofit C.3 memiliki nilai gaya tekan maksimum 282,9 kN, sedangkan nilai gaya tekan maksimum kolom retrofit D.3 yaitu 317,7 kN. Kolom retrofit C.3 memiliki nilai kekakuan sebesar 1086,6667 kN/mm dan nilai modulus elastisitas sebesar 10,0617 kN/mm², sedangkan kolom retrofit D.3 memiliki nilai kekakuan sebesar 945,7337 kN/mm dan nilai modulus elastisitas sebesar 8,7568. Kolom retrofit D.3 memiliki nilai daktilitas sebesar 28,6, sedangkan kolom retrofit C.3 memiliki nilai daktilitas sebesar 67,4.

Kata Kunci : Jaket beton, efektivitas, gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, daktilitas.

(halaman ini sengaja dikosongkan)



SUMMARY

Jevri Herlambang, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Brawijaya University, May 2018, *Effect of Longitudinal Reinforcement Configuration of Bamboo Concrete Jacketing Method with Steel Stirrup of Reinforced Concrete Column*, Academic Supervisor : Dr. Eng Indradi W, ST. M.Eng (Prac.) and Christin Remayanti N., ST., MT.

The column structure is an important element in a building and should be planned with precision. Some of the factors that cause the failure of a column is an earthquake or overload. The development of innovations in the construction of which innovation in the strengthening or repairment of the construction structures. One of the methods for strengthening or repairment is concrete jacketing.

In this study, longitudinal bars at the column retrofit using bamboo material. Bamboo that used in longitudinal bars is bamboo petung. There are 4 types of retrofit columns to be studied, the A.3 retrofit column use 4 pieces bamboo bars with size 10 x 10 mm, the B.3 retrofit column use 8 pieces bamboo bars with size 10 x 5 mm, the C.3 retrofit column use 4 pieces bamboo bars with size 10 x 20 mm, and the D.3 retrofit column use 8 pieces bamboo bars with size 10 x 10 mm. The stirrup distance in the retrofit columns is 9.3 cm. The purpose of this study is to analyze the effectiveness of longitudinal reinforcement configuration between A.3 and B.3 retrofit columns and C.3 and D.3 retrofit columns. Compression test machine is used to measure the compressive strength of the retrofit column, and dial gauge is used to measure deflection during the test.

The result showed that, the retrofit column with 8 pieces of longitudinal bars (B.3 and D.3) was more effective than the retrofit column with 4 pieces of longitudinal bars (A.3 and C.3). The maximum compressive force value of B.3 retrofit column is 361,2 kN, the stiffness value is 1394,3333 kN/mm, modulus of elasticity value is 12,9105 kN/mm², and ductility value is 44,3. While the maximum compressive force value of A.3 retrofit column is 291 kN, the stiffness value is 1105 kN/mm, modulus of elasticity value is 10,2315 kN/mm², and ductility value is 39,3. Then the maximum compressive force value of D.3 retrofit column is 317,7 kN, the stiffness value is 945,7337 kN/mm, modulus of elasticity value is 8,7568 kN/mm², and ductility value is 28,6. While the maximum compressive force value of C.3 retrofit column is 282,9 kN, the stiffness value is 1086,6667 kN/mm, modulus of elasticity value is 10,0617 kN/mm², and ductility value is 67,4.

Keywords : Concrete jacketing, effective, compressive strength, stiffness, modulus of elasticity, ductility.

(halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR SIMBOL

Besaran Dasar	Satuan dan Singkatannya	Simbol
Kuat Beban Aksial	Kilonewton atau kN	P
Luas Penampang Bruto	Milimeter kuadrat atau mm ²	Ag
Kuat Tekan Beton	Megapascal atau MPa	f _c
Tegangan Leleh	Megapascal atau MPa	f _y
Luas Penampang Bambu	Milimeter kuadrat atau mm ²	Abambu
Kuat Tekan Bambu	Megapascal atau MPa	ftk bambu
Modulus Elastisitas	Kilonewton per millimeter kuadrat atau kN/mm ²	E
Kekakuan	Kilonewton per millimeter atau kN/mm	k
Tegangan	Kilonewton per millimeter kuadrat atau kN/mm ²	σ
Luas Penampang	Milimeter kuadrat atau mm ²	A
Perubahan Panjang	Milimeter atau mm	ΔL
Regangan	-	ε
Gaya Tekan	Kilonewton atau kN	P
Defleksi	Milimeter atau mm	Δ
Daktilitas	-	μΔ
Deformasi <i>Ultimate</i>	Milimeter atau mm	Δu
Deformasi Leleh	Milimeter atau mm	Δy



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang. Untuk menunjang perkembangan suatu negara, maka perlu dilakukan perkembangan dan inovasi-inovasi diberbagai bidang. Salah satu bidang tersebut yaitu dalam bidang konstruksi. Beton merupakan salah satu elemen dalam konstruksi.

Dalam perencanaan dan pembangunan suatu konstruksi, perkuatan struktur beton bertulang harus dapat menahan beban struktural bangunan agar berbagai kegiatan yang dilakukan didalam bangunan aman. Apabila struktur beton bertulang tersebut sudah tidak dapat menahan beban yang ditanggungnya, maka dikatakan bahwa struktur bangunan tersebut mengalami kegagalan. Dapat diartikan juga bahwa struktur beton tersebut tidak lagi mempunyai kinerja dan karakteristik seperti perencanaan yang dilakukan sebelumnya.

Kegagalan yang dialami pada struktur beton bertulang tersebut dapat disebabkan oleh berbagai faktor diantaranya: kesalahan dalam perencanaan, kesalahan dalam pelaksanaan, kesalahan operasional, kesalahan dalam perawatan, umur bangunan, atau dapat terjadi karena perubahan dari pemanfaatan bangunan. Kegagalan pada struktur tersebut dapat diatasi dengan melakukan suatu perkuatan pada struktur beton bertulang yang dilakukan sesuai dengan jenis kerusakan yang terjadi. Cara perbaikan ini lebih efektif dan efisien dalam segi biaya dan waktu daripada harus dilakukan pembangunan kembali suatu bangunan yang mengalami kegagalan tersebut.

Dalam penelitian ini, akan diambil sistem retrofit sebagai salah satu cara perkuatan struktur dan akan difokuskan pada pembahasan kolom sebagai salah satu struktur utama dalam suatu bangunan. Sistem retrofit dalam perkuatan struktur kolom ini menggunakan bahan bambu. Bambu dipilih sebagai tulangan alternatif beton karena merupakan produk hasil alam yang renewable, murah, mudah ditanam, pertumbuhan cepat, dapat mereduksi efek global warming serta memiliki kuat tarik sangat tinggi yang dapat dipersaingkan dengan baja (Setiya Budi, 2010).

1.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah pada penelitian ini adalah untuk mengetahui gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas yang lebih efektif dari kolom retrofit dengan metode *concrete jacketing*. Parameter yang digunakan untuk mengetahui hal tersebut pada penelitian ini adalah variasi konfigurasi jumlah dan dimensi tulangan longitudinal bambu dengan sengkang bambu pada kolom retrofit.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah disampaikan di atas, maka dalam penelitian ini didapat rumusan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil gaya tekan maksimum kolom retrofit dengan variasi jumlah dan dimensi tulangan longitudinal yang berbeda ?
2. Bagaimana hasil daktilitas, modulus elastisitas, dan kekakuan pada kolom retrofit dengan variasi jumlah dan dimensi tulangan longitudinal yang berbeda ?
3. Berapa variasi jumlah dan dimensi tulangan bambu yang paling efektif pada kolom retrofit ?

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, penulis memberi batasan masalah diantaranya:

1. Mutu beton yang digunakan dalam penelitian ini adalah 17,5 Mpa.
2. Kolom asli mempunyai dimensi 12 cm x 12 cm x 30 cm.
3. Kolom retrofit mempunyai dimensi 18 cm x 18 cm x 30 cm.
4. Kolom asli mempunyai tulangan berjumlah 4 tulangan polos baja dengan diameter 0,8 cm.
5. Sengkang pada kolom asli menggunakan sengkang baja diameter 0,6 cm dengan jarak 14 cm.
6. Jarak sengkang pada kolom retrofit sebesar 9,3 cm.
7. Jenis bambu yang dipakai pada tulangan longitudinal kolom retrofit adalah bambu petung.

8. Penulangan pada kolom retrofit ada 3 dimensi tulangan yang berbeda, yaitu tulangan bambu (1 cm x 1 cm) , (1 cm x 0,5 cm), dan (1 cm x 2 cm).
9. Variasi tulangan bambu pada kolom retrofit memiliki rasio tulangan (ρ) 1,23 dan 2,47.
10. Penulangan pada kolom retrofit menggunakan tulangan longitudinal (1 cm x 1 cm) dipasang sebanyak 4 buah.
11. Penulangan pada kolom retrofit menggunakan tulangan longitudinal (1 cm x 1 cm) dipasang sebanyak 8 buah.
12. Penulangan pada kolom retrofit menggunakan tulangan longitudinal (1 cm x 0,5 cm) dipasang sebanyak 8 buah.
13. Penulangan pada kolom retrofit menggunakan tulangan longitudinal (1 cm x 2 cm) dipasang sebanyak 4 buah.
14. Untuk setiap dimensi tulangan longitudinal dan jumlah tulangan yang berbeda dibuat masing – masing 3 benda uji. Sehingga total benda uji sebanyak 12.
15. Variasi yang akan dibandingkan dalam penelitian ini adalah jumlah dan dimensi tulangan longitudinal kolom retrofit.
16. Karakteristik pengujian kekuatan kolom retrofit yang akan diamati adalah pengujian kuat tekan kolom.

1.5 Tujuan Penelitian

1. Mengukur hasil gaya tekan maksimum kolom retrofit dengan variasi jumlah dan dimensi tulangan longitudinal yang berbeda.
2. Menganalisis hasil daktilitas, modulus elastisitas, dan kekakuan pada kolom retrofit dengan variasi jumlah dan dimensi tulangan longitudinal yang berbeda.
3. Menentukan variasi jumlah dan dimensi tulangan longitudinal yang paling efektif pada kolom retrofit.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi penulis:

- Mengetahui gaya tekan maksimum kolom retrofit dengan variasi jumlah dan dimensi tulangan longitudinal yang berbeda.
 - Mengetahui daktilitas, modulus elastisitas, dan kekakuan pada kolom retrofit dengan variasi jumlah dan dimensi tulangan longitudinal yang berbeda.
 - Mengetahui variasi jumlah dan dimensi tulangan longitudinal yang paling efektif pada kolom retrofit
2. Bagi pembaca: untuk menambah bidang keilmuan dalam inovasi-inovasi beton bertulang terutama dalam teknik perkuatan beton bertulang dengan retrofit menggunakan metode *concrete jacketing* tulangan bambu dan bisa menjadi bahan masukan untuk penelitian lebih lanjut.



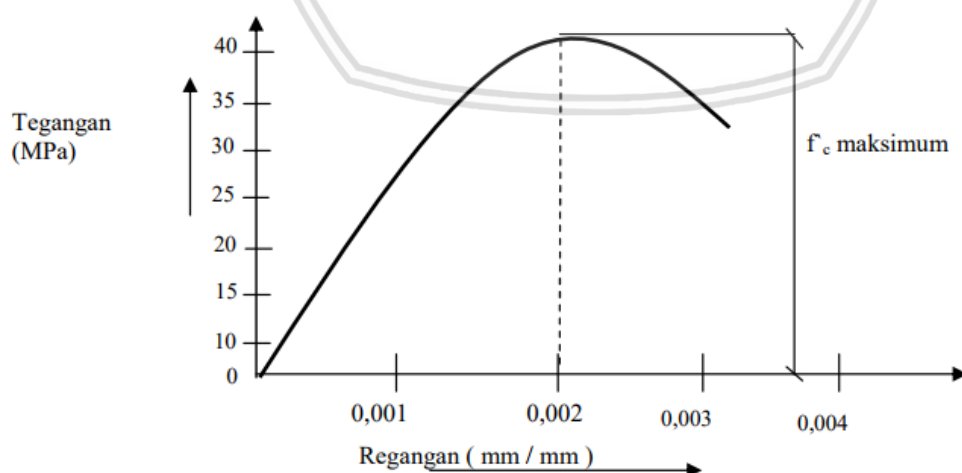
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Beton

Beton adalah bahan utama bangunan yang terdiri dari campuran semen, air, agregat halus (pasir), dan agregat kasar (kerikil) dengan perbandingan tertentu dan dengan penambahan bahan tambah (*admixture*) apabila diperlukan. Menurut SNI 03-2847-2002, pengertian beton adalah campuran antara semen portland atau semen hidraulik lainnya, agregat kasar, agregat halus, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*) yang membentuk masa padat. Beton merupakan material yang kuat terhadap gaya tekan dan lemah terhadap tarik, sehingga diperlukan tulangan untuk menahan gaya tarik yang disebabkan oleh beban - beban yang bekerja. (Nawy, 2008). Bahan tambahan yang dicampurkan pada pembuatan beton bertujuan agar beton memiliki sifat tertentu. Semen dan air yang pada bahan campuran pembuatan beton memiliki fungsi sebagai perekat antara agregat halus dan agregat kasar.

Beton Normal adalah beton yang mempunyai berat jenis 2200 kg/m^3 sampai dengan 2500 kg/m^3 dan dibuat menggunakan agregat kasar dan halus (SK SNI-03-2847-2002, 2002). Hubungan antara tegangan dan regangan beton didapat diperoleh dari pengujian kuat tekan beton, yang digambarkan dengan grafik seperti berikut.



Gambar 2.1 Hubungan Tegangan-Regangan beton

(Sumber : Dipohusodo, 1996)

Nilai tegangan tekan f'_c untuk beton normal yaitu berkisar antara 0,002 sampai 0,003. Setelah mencapai titik maksimum, garis kurva akan mengalami penurunan dengan bertambahnya nilai regangan sampai benda uji hancur pada nilai regangan mencapai 0,003 sampai 0,005. Menurut SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.2 menetapkan bahwa regangan tekan maksimum adalah 0,003 sebagai batas hancur. Menurut PBI' 71 beton dibagi dalam kelas dan mutu pada Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 2.1 Kelas dan mutu beton

Kelas Beton	Mutu Beton	Kuat Tekan Beton (kgf/cm ²)	Tujuan Pemakaian Beton
I	Bo	50-80	Non-struktural
II	Bi	100	Rumah tinggal
	K125	125	Perumahan
	K175	175	Perumahan
	K225	225	Perumahan dan bendungan
III	K>225	>225	Jembatan, bangunan tinggi, terowongan kereta api

2.1.1 Material Penyusun Beton

a. Agregat Halus

Agregat halus dapat berupa pasir alam atau pasir buatan. Pasir alam merupakan pasir hasil desintegrasi alami bebatuan. Pasir buatan merupakan pasir hasil penggilingan bebatuan yang kemudian diolah dan disaring sesuai ukuran maksimum sampai ukuran minimum agregat halus.

b. Agregat Kasar

Agregat kasar berupa kerikil alam atau batu pecah (split, cipping). Pada umumnya, yang dimaksud agregat kasar adalah agregat dengan ukuran besar butir lebih dari 5 mm.

c. Semen

Semen dalam bahan penyusun beton akan bereaksi dengan air dan akan mengeras secara hidrolik. Perkerasan secara hidrolik antara semen dan air membentuk suatu bahan keras dan kedap terhadap air. Perkerasan semen dengan air ini berfungsi untuk mengikat antara agregat halus dan agregat kasar.

d. Air

Air dalam penyusun beton akan bereaksi dengan semen dan sebagai perawatan beton setelah beton mengeras. Air yang memenuhi syarat air minum dapat digunakan sebagai campuran pembuatan beton. Apabila air yang digunakan tidak dapat diminum, maka air harus memenuhi syarat SK SNI 03-2847-2002.

Persyaratan air yang digunakan untuk campuran bahan pembuatan menurut SK SNI 03-2847-2002, yaitu pemilihan proporsi campuran beton harus didasarkan pada campuran beton yang menggunakan air dari sumber yang sama dan hasil pengujian pada umur 7 dan 28 hari pada kubus uji mortar yang dibuat dari adukan dengan air yang tidak dapat diminum harus mempunyai kekuatan sekurang-kurangnya sama dengan 90% dari kekuatan benda uji yang dibuat dengan air yang dapat diminum. Perbandingan uji kekuatan tersebut harus dilakukan pada adukan serupa, terkecuali pada air pencampur, yang dibuat dan diuji sesuai dengan "Metode uji kuat tekan untuk mortar semen hidrolis (menggunakan spesimen kubus dengan ukuran sisi 50 mm)" (ASTM C 109).

2.1.2 Sifat-Sifat Beton

Beberapa sifat beton setelah mengalami perkerasan diantaranya:

a. Kuat Tekan Beton

Beton memiliki kuat tekan yang tinggi, akan tetapi kuat tarik yang dimiliki beton rendah. Kekuatan tekan (f'_c) beton menentukan mutu beton untuk menerima gaya tekan yang dibebankan. Pengujian kuat tekan beton dilakukan dengan uji tekan benda uji kubus berdimensi 15 x 15 x 15 cm atau benda uji silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm dengan nilai kuat tekan beton yang dinyatakan dalam Mpa. Kuat tekan beton yang dihasilkan benda uji silinder sekitar 83% daripada benda uji kubus. Kekuatan beton dipengaruhi oleh umur beton, kepadatan, kualitas bahan penyusun, serta proporsi campuran.

b. Modulus Elastis Secant

Modulus secant adalah kemiringan garis dari titik asal (0,0) ke suatu titik tegangan regangan. Titik yang digunakan merupakan 75% dari tegangan maksimal karena menggunakan beton bertulang. Modulus secant sangat berguna ketika digunakan untuk membandingkan antar material dan mengontrol kualitas. Nilai kekakuan dengan metode tangent akan lebih besar dari metode sekan, karena metode tangent didapatkan dengan mencari nilai kemiringan dari awal grafik hingga kondisi sebelum leleh, sedangkan metode secan didapatkan dengan mencari nilai kemiringan dari awal grafik hingga kondisi beban sebesar 75% dari beban puncak. Metode secan lebih relevan digunakan untuk mencari nilai kekakuan, karena dianggap lebih mewakili kondisi beton seutuhnya (Wibowo, 2017).

c. Modulus Elastis Tangent

Modulus tangent adalah kemiringan garis singgung dari suatu titik pada kurva tegangan regangan. Modulus tangent sangat berguna untuk menggambarkan perilaku material yang mengalami tegangan diluar daerah elastis. Pada umumnya nilai modulus tangent lebih besar dari pada modulus secant karena penentuan dari modulus tangent bergantung pada kemiringan awal kurva tegangan regangan.

d. Rasio Poisson

Beton yang menerima beban tekan akan mengalami pemendekan tinggi dan ekspansi dalam arah lateral. Rasio Poisson (*Poisson's ratio*) merupakan perbandingan ekspansi lateral dengan pendekatan longitudinal dengan nilai yang bervariasi mulai dari 0,11 untuk beton mutu tinggi dan 0,21 untuk beton mutu rendah, dan dengan nilai rata-rata 0,16.

2.2 Beton Bertulang

Beton bertulang adalah beton yang menggunakan tulangan dengan jumlah dan luas tulangan tidak kurang dari nilai minimum yang disyaratkan, dengan atau tanpa pratekan dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama – sama dalam menahan gaya yang bekerja (Mulyono, 2004). Standar peraturan perencanaan untuk bangunan beton bertulang di Indonesia mengacu pada SNI 2847:2013.

Material penyusun dari beton bertulang sama dengan penyusun beton pada umumnya, perbedaan untuk beton bertulang terdapat penambahan penggunaan besi tulangan beton. Pada umumnya terdapat 2 jenis besi tulangan yaitu besi tulangan permukaan polos (*round bar*) dan besi tulangan ulir (*deformed bar*). Baja merupakan tulangan yang sering dipakai untuk tulangan beton.

2.2.1 Kelebihan dan Kekurangan Beton Bertulang

Beberapa kelebihan pada beton bertulang antara lain :

- a) Beton memiliki kuat tekan yang relatif lebih tinggi.
- b) Memiliki ketahanan yang tinggi terhadap api dan air, dan merupakan bahan struktur terbaik untuk bangunan yang banyak bersentuhan dengan air.
- c) Memiliki struktur yang sangat kokoh.
- d) Untuk perawatan beton bertulang tidak memerlukan biaya yang tinggi.
- e) Memiliki usia layan yang panjang. Dalam kondisi normal, struktur beton bertulang dapat digunakan sampai kapan pun tanpa kehilangan kemampuannya dalam menahan beban. Semakin lama kekuatan beton akan semakin bertambah dalam hitungan tahun karena lamanya proses pematangan pasta semen.
- f) Beton merupakan bahan yang ekonomis untuk pondasi tapak, dinding basement, tiang tumpuan jembatan, dan bangunan sejenis itu.
- g) Mudah dicetak dan dibentuk dalam bentuk yang beragam mulai dari pelat, balok, dan kolom yang sederhana sampai atap kubah dan cangkang besar.
- h) Terbuat dari bahan-bahan lokal yang murah dan mudah didapatkan. Relatif hanya membutuhkan sedikit semen dan tulangan baja, yang mungkin saja harus didatangkan dari daerah lain.
- i) Untuk pengerjaan konstruksi beton bertulang dapat menggunakan keahlian buruh yang rendah dibandingkan keahlian buruh yang digunakan untuk konstruksi bahan lain seperti struktur baja.

Sedangkan kekurangan yang dimiliki oleh beton bertulang diantaranya adalah:

- a) Beton memiliki kuat tarik yang sangat rendah (sekitar 10% dari kekuatan tekan), sehingga memerlukan penggunaan tulangan untuk dapat menahan gaya tarik yang terjadi pada beton.
- b) Dalam proses pembuatan beton bertulang memerlukan bekisting untuk menahan beton tetap di tempatnya sampai beton mengeras. Diperlukan juga penopang atau

penyangga untuk menopang beton bertulang, misalnya untuk struktur atap, dinding, dan struktur sejenisnya, sampai beton mengeras dan dapat menahan beratnya sendiri. Biaya untuk pengadaan bekisting juga terbilang banyak.

- c) Rendahnya kekuatan per satuan berat dari beton mengakibatkan beton bertulang menjadi berat. Kekuatan beton berkisar antara 5 hingga 10% kekuatan baja, sedangkan berat jenisnya kira-kira 30% dari berat baja. Ini akan mempengaruhi berat beban mati struktur dan akan berpengaruh pada momen lentur yang ditimbulkan.
- d) Sifat beton dapat bervariasi karena dipengaruhi oleh proporsi campuran dan pengadukannya. Penuangan dan perawatan untuk beton tidak dapat dilakukan sangat teliti, tidak seperti proses produksi material lain seperti struktur baja.

2.2.2 Tegangan dan Regangan pada Beton Bertulang

Tegangan adalah besaran pengukuran intensitas gaya (F) atau reaksi dalam yang timbul per satuan luas (A). Rumus untuk mencari tegangan pada beton bertulang adalah:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots\dots\dots(2-1)$$

Dimana :

P = beban yang diberikan (ton)

A = luas tampang melintang (mm²)

Suatu regangan merupakan hasil perpanjangan (l) dibagi dengan panjang material mula-mula, dengan rumus sebagai berikut :

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(2-2)$$

Dimana $\Delta L = l - l_0$

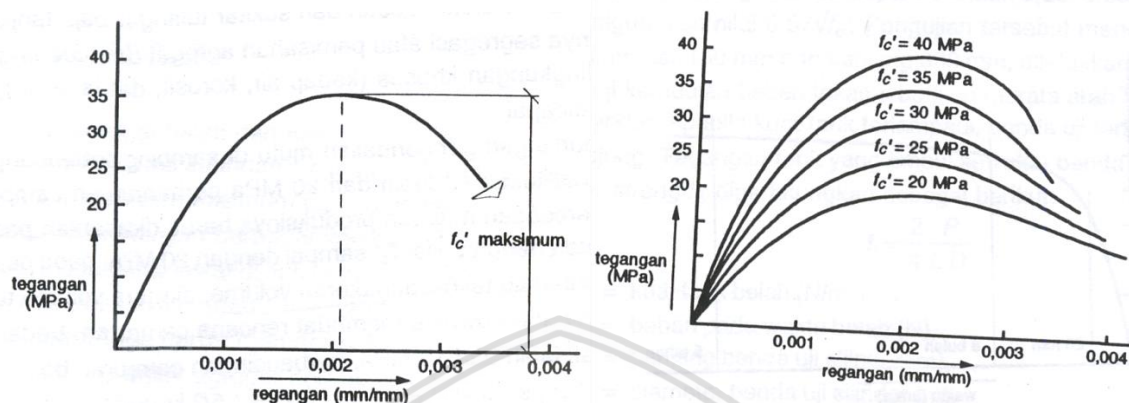
Dimana :

ΔL = perubahan panjang akibat beban P (mm)

L = panjang semula (mm)

2.2.3 Hubungan Tegangan dan Regangan Pada Beton Bertulang

Kurva tegangan regangan pada beton bertulang dapat dilihat pada Gambar 2.2

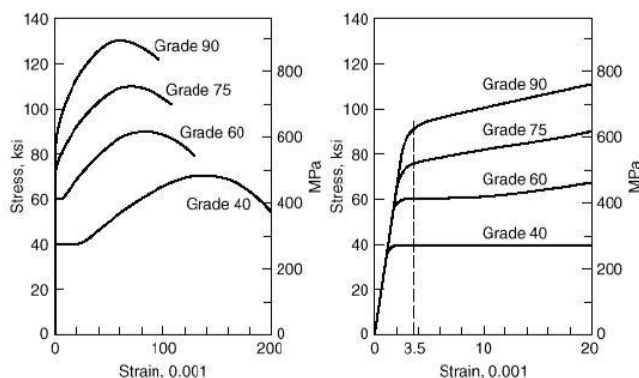


Gambar 2.2. Kurva hubungan tegangan dan regangan pada beton bertulang

(a) Kurva tegangan – regangan dengan satu jenis f'_c ; (b) Kurva tegangan regangan dengan satu jenis f'_c bervariasi

Dari gambar kurva hubungan tegangan regangan beton bertulang diatas dapat dilihat bahwa beton dengan kekuatan lebih rendah mempunyai deformasi yang lebih tinggi dari pada beton dengan kekuatan tinggi. Tegangan maksimum dicapai pada regangan tekan di antara 0,002-0,0025. Regangan ultimit pada saat hancurnya beton berkisar 0,003-0,004 (SNI menetapkan 0,003). Secara umum dalam perencanaan beton bertulang ditetapkan kekuatan beton 20-30 MPa untuk struktur tanpa prategang dan kekuatan 32 sampai 42 MPa untuk beton prategang.

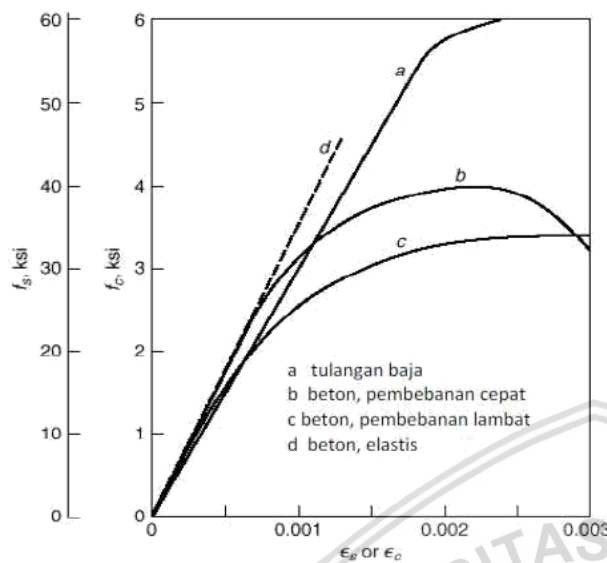
Kurva tegangan dan regangan baja dari berbagai mutu pada dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Kurva tegangan-regangan tulangan baja beberapa mutu

Sumber : Sumber: Nilson, et. al. (2004)

Kurva tegangan regangan beton dan baja yang terdapat pada beton bertulang seperti Gambar 2.4



Gambar 2.4. Kurva tegangan-regangan beton dan baja pada suatu elemen beton bertulang yang dibebani

Sumber : Sumber: Nilson, et. al. (2004)

2.3 Baja Tulangan

Baja adalah salah satu dari bahan konstruksi yang memiliki kuat tarik yang tinggi. Baja memiliki keliatan (ductility), yaitu kemampuan untuk berdeformasi secara nyata baik dalam tegangan maupun dalam kompresi sebelum terjadi kegagalan (Bowles, 1985).

Kelebihan lain yang dimiliki baja yaitu pemasangan baja dalam konstruksi tidak memerlukan waktu yang lama, memiliki spesifik *strenght* (kekuatan persatuan berat) yang tinggi, dan mempunyai tingkat daktilitas yang baik. Baja juga memiliki kelemahan yaitu baja dapat mengalami korosi. Penggunaan baja dalam beton bertulang adalah untuk menahan gaya tarik yang dialami oleh beton karena beton lemah dalam menahan gaya tarik. Terdapat dua jenis baja tulangan yang sering digunakan dalam konstruksi, yaitu baja tulangan polos (*plain bar*) dan baja tulangan ulir (*deformed bar*).

2.3.1 Baja Tulangan Polos (*Plain Bar*)

Baja polos adalah jenis baja dengan permukaan luarnya rata atau tidak berukir. Baja tulangan Polos biasanya digunakan untuk tulangan geser, begel, dan atau sengkang, dan

mempunyai tegangan leleh (f_y) minimal sebesar 240 MPa (disebut BJTP-24), dengan ukuran $\emptyset 6$, $\emptyset 8$, $\emptyset 10$, $\emptyset 12$, $\emptyset 14$ dan $\emptyset 16$ (dengan \emptyset menyatakan simbol diameter polos).

2.3.2 Baja Tulangan Ulir (*Deformed Bar*)

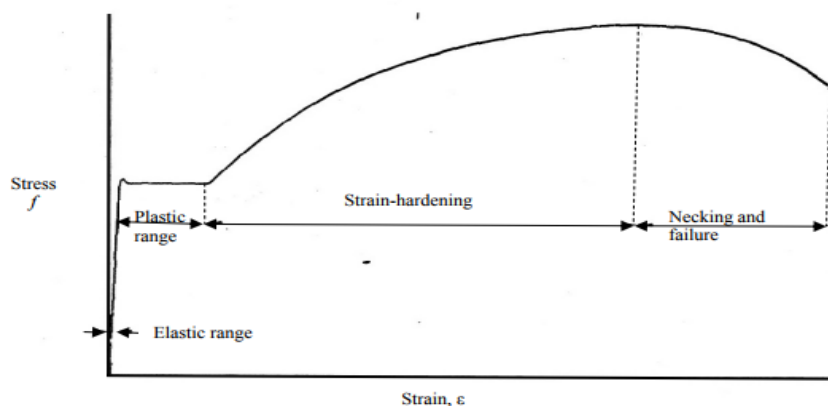
Baja tulangan ulir adalah baja yang permukaan sisi luarnya tidak rata atau berukir. Berdasarkan SNI 03-2847-2002, baja tulangan ulir lebih diutamakan pemakaiannya untuk tulangan longitudinal beton struktur. Tujuan permukaan baja ulir yaitu agar terjadi lekatan yang baik antara beton dengan baja ulir sebagai tulangannya. Tulangan ulir mempunyai tegangan leleh (f_y) minimal 300 MPa (disebut BJTD-30). Ukuran diameter nominal tulangan ulir yang umumnya tersedia di pasaran adalah D10, D13, D16, D19, D22, D25, D29, D32, dan D36.

2.4 Tulangan Longitudinal

Tulangan longitudinal merupakan tulangan yang dipasang searah dengan sumbu batang. Tulangan longitudinal diupayakan dipasang pada daerah yang menahan momen lentur besar (umumnya di daerah lapangan/tengah bentang, atau di atas tumpuan), sehingga mencegah terjadinya retakan beton akibat tegangan lentur tersebut. Sifat penting baja yang banyak digunakan untuk perhitungan struktur beton bertulang adalah :

a. Tegangan tarik leleh (f_y)

Untuk menggambarkan perilaku karakteristik pada baja dapat dilihat pada Gambar 2.5. Pada gambar tersebut terdapat beberapa daerah perilaku dari baja yaitu : daerah elastis (the elastic range), daerah plastis (the plastic range), daerah pengerasan regangan (the strainhardening range) dan daerah luluh (the necking and failure range) (Tall, 1974).



Gambar 2.5 Tegangan-Regangan Baja

(Sumber : Tall, 1974)

b. Modulus Elastisitas (E)

Modulus elastis adalah perbandingan antara tegangan dengan regangan yang dialami oleh suatu benda. Hasil modulus elastis digunakan untuk mengetahui elastis atau tidaknya beton bertulang. Semakin rendah nilai modulus elastis maka semakin elastis beton bertulang sehingga beton akan lebih mudah mengalami perpindahan atau perpanjangan. Begitu juga sebaliknya, semakin kecil nilai modulus elastisitas maka beton bertulang tersebut lebih kaku sehingga sulit untuk mengalami perpindahan atau perpanjangan. Rumus modulus elastisitas adalah sebagai berikut:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots(2-8)$$

dimana :

E = Modulus elastisitas (N/)

σ = Regangan (N/)

ε = Tegangan

2.5 Bambu

Bambu adalah anggota sub famili rumput-rumputan (*Graminae*) dan memiliki ruas-ruas sepanjang batangnya. Tanaman bambu memiliki kelebihan yaitu pertumbuhan cepat, tidak memerlukan perawatan khusus dalam pertumbuhannya, dan mempunyai ketahanan yang baik. Bambu yang umumnya dipasarkan di Indonesia yaitu bambu wulung, bambu petung, bambu tali, dan bambu duri (Frick, 2004). Dalam penelitian ini bambu yang digunakan yaitu bambu petung. Ukuran bambu petung dapat mencapai diameter 26 cm dan tinggi 250 cm.

Morisco (1999) meneliti bahwa bambu dapat digunakan sebagai pengganti baja tulangan karena kekuatan tarik bambu yang tinggi mendekati kekuatan baja. Menurut Janssen, JAA (1988) dalam Morisco (1999) keunggulan bambu adalah sebagai berikut: bambu dapat tumbuh sangat cepat dan dapat dibudidayakan secara cepat serta modal dapat diputar berkesinambungan, bambu mempunyai sifat-sifat mekanika yang baik, pengerjaan bambu hanya membutuhkan peralatan yang sederhana, dan kulit luar bambu mengandung banyak silika yang membuat bambu terlindungi. Keunggulan bambu lainnya sebagai bahan bangunan yaitu harga bambu yang relatif murah, pertumbuhan bambu yang cepat, mudah

ditanam, mudah dikerjakan. Akan tetapi bambu memiliki kelemahan, yaitu sifat kembang susutnya cukup besar yang dapat mengakibatkan kuat lekat dengan beton berkurang.

Morisco dan Mardjono (1995) mengadakan pengujian kekuatan tarik bambu Ori (*Bambusa bambos Becke*), bambu Petung (*Dendrocalamus Asper Schult*), bambu Wulung (*Gigantochloa Vercillata Munro*) dan bambu tutul (*Bambusa Vurgalis Schrad*). Hasil pengujian selengkapnya dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.2 Tegangan tarik bambu

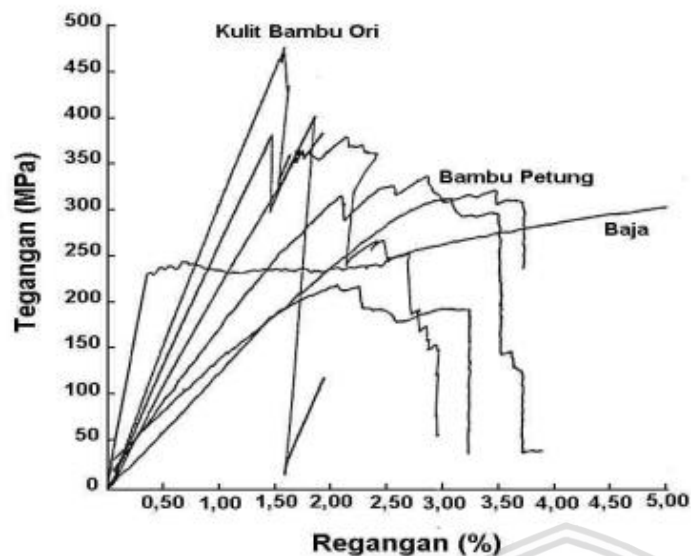
Jenis Bambu	Tegangan Tarik (Mpa)	
	Tanpa Nodia	Dengan Nodia
Ori	291	128
Petung	190	116
Wulung	166	147
Tutul	216	74
Apus	151	55

Tabel 2.3 Tegangan tarik bambu bagian dalam dan bagian luar

Jenis Bambu	Tegangan Tarik (Mpa)	
	Bagian dalam	Bagian luar
Ori	164	417
Petung	97	285
Wulung	96	237
Tutul	146	286

Sumber: Morisco dan Marjono (1995)

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Morisco dan Marjono (1995) disusun dalam diagram tegangan-regangan yang dibandingkan dengan diagram tegangan-regangan baja seperti ditunjukkan dalam gambar berikut.



Gambar 2.6 Diagram tegangan-regangan bambu dan baja
(Sumber: Morisco, 1999)

2.5.1 Kuat Tarik Bambu

Kuat tarik bambu adalah suatu ukuran kekuatan bambu di dalam menahan gaya-gaya yang cenderung menyebabkan bambu tersebut terlepas satu dengan yang lainnya. Beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan bambu sebagai berikut :

1. Kandungan air dalam bambu. Kandungan air yang meningkat dan terlalu banyak akan menurunkan kekuatan tarik dari bambu.
2. Ada tidaknya nodia pada bambu. Di daerah inter-nodia sel-selnya berorientasi kearah sumbu aksial, sedangkan di daerah nodia sel-selnya mengarah pada sumbu transversal. Oleh karena itu batang yang bernodia mempunyai kekuatan yang lebih rendah dibandingkan dengan batang yang tidak bernodia.

Berikut rumusan di dalam menghitung kuat tarik pada bambu :

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A} \dots\dots\dots(2-3)$$

Dimana :

σ_{max} = kekuatan/tegangan tarik pada batas maksimum (kg/cm²)

P_{max} = beban tarik maksimum (kg)

A = luas penampang (cm²)

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Morisco (1999) terhadap kekuatan tarik sejajar serat bambu menunjukkan nilai yang cukup tinggi yaitu berkisar antara 2000 – 3000 kg/cm². Sementara itu kuat batas dan tegangan ijin bambu sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Rentang frekuensi gelombang mekanik longitudinal

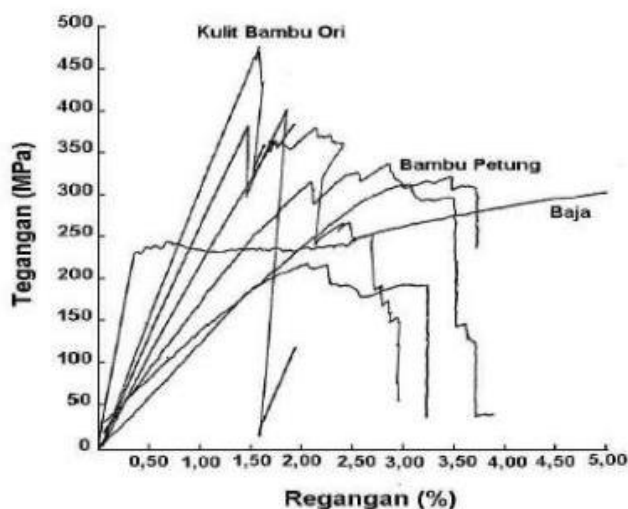
Macam Tegangan	Kuat Batas (kg/cm ²)	Tegangan Ijin (kg/cm ²)
Tarik	981 - 3920	294,2
Lentur	686 - 2940	98,07
Tekan	245 - 981	78,45
E Tarik	98070 - 294200	196,1 x 10 ³

(Sumber: Morisco, 1999)

Pengujian kuat tarik yang dilakukan oleh Morisco (1999) terhadap empat jenis bambu yaitu bambu ori (*bambusa bambos becke*), bambu petung (*dendracalamus asper schult*), bambu wulung (*gigantochloa vercillata munro*) dan bambu tutul (*bambusa vulgaris schrad*). Dalam pengujian tersebut digunakan bambu dengan nodia dan bambu tanpa nodia. Hasil yang didapatkan dari pengujian tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Tegangan tarik bambu kering oven tanpa nodia dan dengan nodia

Jenis Bambu	Tegangan Tarik (Mpa)	
	Tanpa Nodia	Dengan Nodia
Ori	291	128
Petung	190	116
Wulung	166	147
Tutul	216	74
Apus	151	55



Gambar 2.7. Hubungan tegangan-regangan bambu dan baja

(Sumber : Morisco ,1999)

Dari Gambar 2.7 hubungan tegangan-regangan bambu dan baja, dapat dilihat bahwa bambu ori memiliki kekuatan yang cukup tinggi yaitu hampir dua kali tegangan leleh baja. Kuat tarik rata-rata dari bambu petung juga lebih besar dari tegangan leleh baja.

2.5.2 Kuat Tekan Bambu

Kekuatan tekan adalah kekuatan bambu untuk menahan gaya dari luar yang datang pada arah sejajar serat yang cenderung memperpendek atau menekan bagian-bagian bambu secara bersama-sama .

Berikut rumusan di dalam menghitung kuat tekan pada bambu :

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{A} \dots\dots\dots(2-4)$$

Dimana :

σ_{max} = kekuatan/tegangan tarik pada batas maksimum (kg/cm²)

P_{max} = beban tekan maksimum (kg)

A = luas penampang (cm²)

Berdasarkan penelitian Sidik Mustafa (2010) diketahui kuat tekan bambu petung seperti pada Tabel 2.6 berikut ini :

Tabel 2.6 Kuat tekan bambu petung

Sifat Mekanika	Umur	Rata-rata (Mpa)
Kuat Tekan	Muda	37,52
	Dewasa	46,59
	Tua	43,13

(Sumber : Sidik Mustafa ,2010)

2.5.3 Daya Lekat Bambu

Perkuatan pada beton dapat meningkatkan kekuatan tarik penampang, tergantung pada keserasian antara kedua bahan tersebut untuk dapat bekerja sama memikul beban luar. Secara ringkas, kekuatan lekatan bergantung pada faktor-faktor utama sebagai berikut :

1. Adesi yang terjadi antara beton dan bahan penguatnya.
2. Efek *gripping* (memegang) akibat dari susut pengeringan beton disekeliling tulangan dan saling geser antara tulangan dengan beton di sekitarnya.
3. Tahanan gesekan (friksi) terhadap gelincir dan saling mengunci pada elemen penguat atau saat tulangan mengalami tegangan tarik.
4. Efek kualitas beton, kekuatan tarik dan tekannya.
5. Efek mekanis penjangkaran ujung tulangan, yaitu dengan panjang penyaluran (*development length*), panjang lewatan (*splicing*), bengkokan tulangan (*hooks*), dan persilangan tulangan.
6. Diameter, bentuk, dan jarak tulangan karena kesemuanya mempengaruhi pola terjadinya retak.

Adapun rumus yang digunakan sebagai berikut:

$$\mu = \frac{P}{(Ld \times 2(lb+tb))} \dots \dots \dots (2-5)$$

Dimana :

P = beban (N)

ld = panjang penanaman (mm)

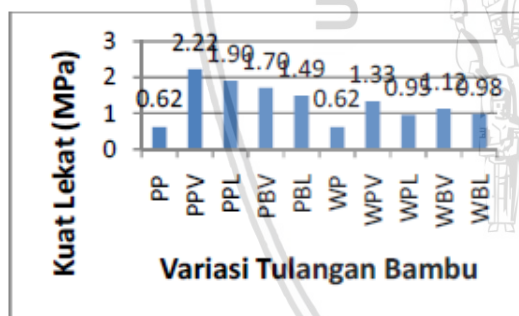
lb = lebar tulangan bambu (mm)

tb = tebal tulangan bambu (mm)

μ = kuat lekat antara beton dengan tulangan (MPa)

Dari beberapa penelitian sifat bambu, kuat lekat tulangan bambu (petung) yang dilapisi cat dapat mencapai 1,0 MPa. Dalam satu batang bambu sifat mekaniknya dapat berbeda, maka disarankan bahan tulangan diambil hanya dari bagian luar (kira-kira 30% tebal dari bambu bagian pangkal dan 50% tebal dari bambu bagian tengah atau ujung). Dari beberapa jenis bambu yang telah diteliti kuat lekatnya, kuat lekat yang dimiliki bambu petung paling tinggi yaitu sekitar 1,1 MPa (dipilin). Kuat lekat bambu apus, ori dan wulung hampir sama, yaitu sekitar 0,6 MPa. Kalau dilihat keterkaitan antara kuat lekat ini dan sifat kembang susut bambu, ternyata kembang susut bambu petung paling rendah dibandingkan dengan tiga jenis bambu tersebut (Triwiyono, 2000).

Berdasarkan penelitian Mulyati dan Amran (2016) hasil pengujian kuat lekat tulangan bambu pada beton, kuat lekat tulangan bambu Petung persegi divernis (PPV) paling tinggi yaitu sebesar 2,22 MPa. Grafik kuat lekat di dapatkan dari pengujian *pull out test* dapat dilihat pada Gambar 2.8



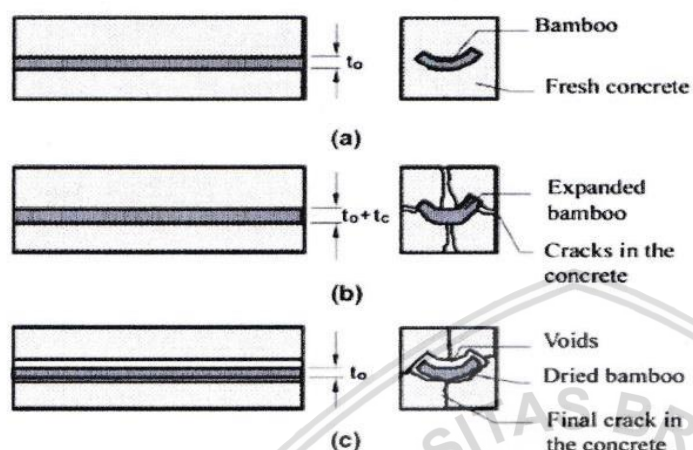
Gambar 2.8. Hubungan variasi tulangan bambu dengan kuat lekat

(Sumber : Mulyati dan Amran ,2016)

2.5.4 Perlakuan pada Bambu sebagai Tulangan

Ghavami (2005) menyatakan bahwa penelitian bambu sebagai pengganti tulangan didalam beton bertulang telah dilakukan sejak tahun 1979 di Brazil dan Puerto Rico. Kuat lekat antara tulangan dengan beton harus diperhatikan agar mencegah terjadinya selip. Bambu akan mengembang ketika memiliki kadar air yang tinggi karena pori-pori bambu terisi oleh air. Dan saat beton mengalami pengerasan maka kadar air dalam beton juga akan berkurang, begitu juga dengan kadar air yang mengisi pori-pori akan berkurang dan bambu akan ikut menyusut. Oleh karena itu diperlukan perlakuan khusus yaitu pemberian lapisan

kedap air dan kemudian dilumuri pasir pada permukaan tulangan bambu. Permukaan bambu akan menjajdi kasar dan akan meningkatkan daya lekat bambu terhadap beton. Jika tidak diberi perlakuan seperti diatas, maka bambu akan mengalami kondisi seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Perilaku bambu yang tidak dilapisi kedap air

(Sumber : Khosrow Gavami ,2005)

Keterangan pada Gambar 2.9 :

- Bambu dalam beton segar, bambu tidak dilapisi cat dan akan menyerap air beton.
- Bambu menyerap air dan mengembang sehingga menyebabkan retak pada beton.
- Bambu menyusut dan membusuk akibat kontak dengan udara luar.

2.6 Kolom

Kolom merupakan batang tekan vertikal struktural yang memikul beban dari balok dan meneruskan pada struktur di bawahnya. Karena kolom merupakan komponen tekan, maka keruntuhan pada satu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan collapse (runtuhnya) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh total (*ultimate total collapse*) seluruh strukturnya. (Nawy, 1985)

Perencanaan kolom harus dihitung dan direncanakan secara cermat karena kolom berhubungan erat dengan kestabilan bangunan. Menurut Euler beban kritis adalah bahwa kapasitas pikul-beban suatu kolom selalu berbanding terbalik dengan kuadrat panjang

elemen, sebanding dengan modulus elastis material, dan sebanding dengan momen inersia penampang melintang.

Pengaruh geser terhadap pengurangan kekuatan kolom sebanding dengan besarnya deformasi yang ditimbulkan oleh gaya geser. Untuk penampang berbadan solid memiliki deformasi geser yang lebih kecil. Pengaruh gaya geser yang kecil pada kolom berbadan solid dapat diabaikan dan aman. Apabila tulangan baja leleh maka akan terjadi keruntuhan pada beton bertulang karena tidak adanya komponen yang dapat menahan gaya tarik atau terjadi kehancuran pada beton yang tertekan.

Beberapa hal penyebab kehancuran pada kolom yaitu sifat kolom yang mengalami tekuk elastik atau tekuk inelastik yang dipengaruhi oleh angka kelangsingan (*slenderness ratio*). Kolom diklasifikasikan berdasarkan bentuk dan susunan tulangannya, posisi beban pada penampangnya, dan panjang kolom dalam hubungannya dengan dimensi lateralnya. Kekuatan kolom dievaluasi berdasarkan prinsip dasar sebagai berikut :

- Distribusi regangannya linier diseluruh tebal kolom
- Tidak ada gelincir antara beton dengan tulangan baja (ini berarti regangan pada baja sama dengan regangan pada beton yang mengelilinginya)
- Regangan beton maksimum yang diijinkan pada keadaan gagal (untuk perhitungan kekuatan) adalah 0.003
- Kekuatan tarik beton diabaikan dan tidak digunakan dalam perhitungan

2.6.1 Jenis Kolom

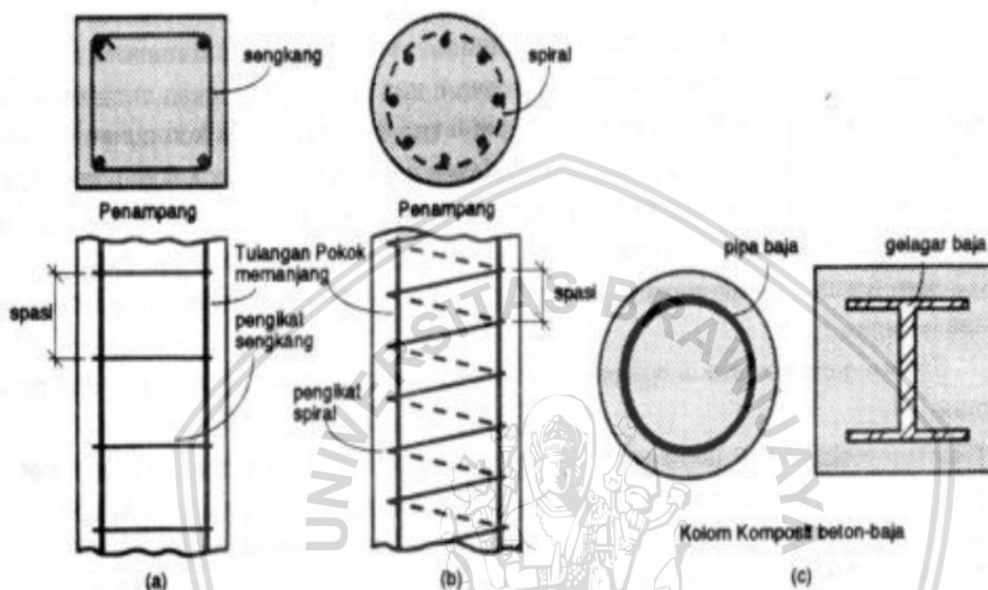
SK SNI T-15-1991-03 mendefinisikan kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral terkecil.

Kolom terbagi menjadi 3 berdasarkan bentuk dan susunan tulangannya (Nawy, 1990) yaitu:

1. Kolom menggunakan pengikat sengkang lateral. Kolom ini merupakan kolom beton yang ditulangi dengan batang tulangan pokok memanjang, yang pada jarak spasi tertentu diikat dengan pengikat sengkang ke arah lateral. Tulangan ini berfungsi untuk memegang tulangan pokok memanjang agar tetap kokoh pada tempatnya.
2. Kolom menggunakan pengikat spiral. Bentuknya sama dengan yang pertama hanya saja sebagai pengikat tulangan pokok memanjang adalah tulangan spiral yang dililitkan keliling membentuk heliks menerus di sepanjang kolom. Fungsi dari

tulangan spiral adalah memberi kemampuan kolom untuk menyerap deformasi cukup besar sebelum runtuh, sehingga mampu mencegah terjadinya kehancuran seluruh struktur sebelum proses redistribusi momen dan tegangan terwujud.

3. Struktur kolom komposit, merupakan komponen struktur tekan yang diperkuat pada arah memanjang dengan gelagar baja profil atau pipa, dengan atau tanpa diberi batang tulangan pokok memanjang.



Gambar 2.10. Berbagai jenis kolom, (a) Kolom Persegi, (b) Kolom Bulat, (c) Kolom Komposit

Kolom bersengkang merupakan jenis yang paling banyak digunakan karena pengerjaannya yang mudah. Meskipun begitu, kolom segiempat maupun bundar dengan tulangan berbentuk spiral kadang-kadang digunakan juga, terutama bila diperlukan daktilitas kolom yang cukup tinggi seperti pada daerah-daerah gempa (Istimawan Dipohusodo:288)

2.6.2 Kolom Pendek dengan Beban Aksial

Kolom pendek hanya menahan gaya tekan aksial dan tidak berpengaruh terhadap tekuk. Tegangan dan regangan yang terjadi pada kolom dianggap terdistribusi merata ke seluruh penampang kolom akibat beban aksial yang bekerja. Sehingga regangan yang terjadi pada beton dianggap sama dengan regangan yang terjadi pada baja ($\epsilon_c = \epsilon_s$). Beton mencapai kekuatan maksimum, saat regangan yang terjadi mencapai sekitar 0,002 in./in. – 0,003 in./in. Kapasitas beban aksial maksimum yang dapat dipikul oleh kolom pendek beton bertulang merupakan penjumlahan dari kekuatan beton dan kekuatan baja. Kontribusi beton

yaitu $\sigma_c A_c$ atau $0,85 f'_c A_g$. Apabila digunakan luas penampang beton dihitung menggunakan luas penampang bersih beton, maka kontribusi kekuatan beton menjadi $0,85 f'_c (A_g - A_{st})$. Sedangkan kontribusi kekuatan baja adalah $\sigma_s A_s$ atau $f_y A_s$.

Kapasitas beban sentris maksimum pada kolom pendek bersengkang yang dibebani aksial adalah sebagai berikut:

$$P_{n(max)} = 0,8 \{0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}\} \dots \dots \dots (2-6)$$

Sesuai dengan SNI 2847-2013 tentang “Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung,” pasal.10.3.6.2 untuk desain beban aksial maksimum pada komponen struktur non-prategang dengan tulangan pengikat (termasuk kolom bersengkang), adalah:

$$\phi P_{n(max)} = 0,8 \phi \{0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}\} \dots \dots \dots (2-7)$$

Dengan $\phi = 0.65$

Untuk analisis batang beton bertulang bambu dengan beban axial tekan murni (Sri Murni Dewi, 2013) adalah sebagai berikut :

$$P_{n(max)} = 0.85 f'_c (A_g - A_{bambu}) + (A_{bambu} \cdot f_{tk_{bambu}}) \dots \dots \dots (2-8)$$

Untuk analisis kuat tekan kolom retrofit bertulang bambu dengan hasil uji tekan 50 % kolom asli bertulang baja, maka dapat diperoleh persamaan :

$$P_{n(max)} = 50\% [0.85 f'_c (A_{gkolom\ asli} - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] + [0.85 f'_c (A_{gkolom\ retrofit} - A_{bambu}) + (A_{bambu} \cdot f_{tk_{bambu}})] \dots \dots \dots (2-7)$$

Dimana :

A_g = luas Penampang bruto beton

A_{st} = luas total tulangan longitudinal

f'_c = kuat tekan beton

A_{bambu} = luas penampang bambu

$f_{tk\ bambu}$ = kuat tekan bambu

2.7 Daktilitas

Keliatan (*ductility*) adalah sifat dari suatu bahan yang memungkinkan bisa dibentuk secara permanen melalui perubahan bentuk yang besar tanpa kerusakan. Keliatan diperlukan pada batang atau bagian yang mungkin mengalami beban yang besar secara tiba-tiba, karena

perubahan bentuk yang berlebihan akan memberikan tanda-tanda ancaman kerusakan (Anonim,2010). Berikut merupakan rumus untuk mencari daktilitas dari suatu bahan :

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta y} \dots\dots\dots(2-8)$$

Dimana :

μ_{Δ} = Nilai daktilitas

Δu = Deformasi *ultimate* (mm)

Δy = Deformasi leleh (mm)

2.8 Kekakuan

Kekakuan merupakan rasio antara beban dengan perpendekan (Wibowo, 2009). Kekakuan didapatkan dengan mencari nilai kemiringan antara beban puncak dengan defleksi. . Metode secan lebih relevan digunakan untuk mencari nilai kekakuan, karena dianggap lebih mewakili kondisi beton seutuhnya (Wibowo, 2017)

Rumus kekakuan :

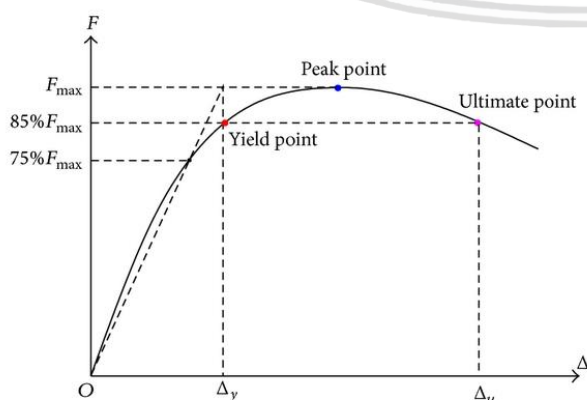
$$k = \frac{P}{\Delta} \dots\dots\dots(2-7)$$

Dimana :

k = Kekakuan Struktur (kN/mm)

P = Gaya Tekan (kN)

Δ = Defleksi (mm)

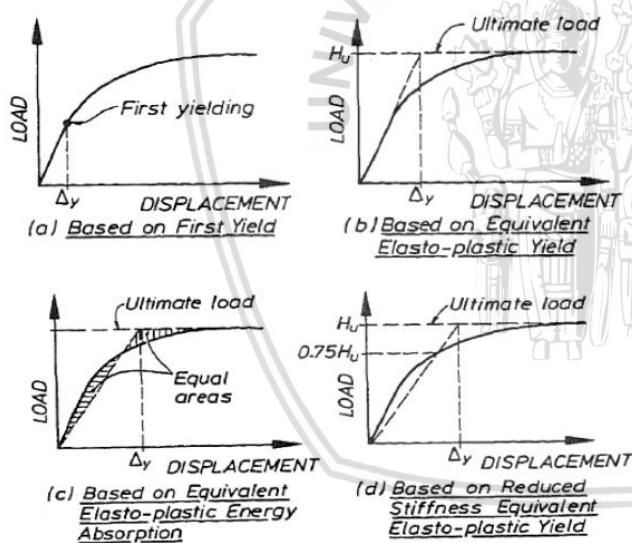


Gambar 2.11. Grafik gaya tekan dan deformasi material yang dibebani aksial

Sumber : Hongmei Zhang et al. (2014)

Dari grafik tersebut, ada beberapa nilai kekakuan yaitu kekakuan pada kondisi elastis, leleh, *ultimate*, dan runtuh. Kekakuan elastis sering didefinisikan sebagai kemampuan suatu struktur untuk kembali ke bentuk awal setelah dibebani (Anonim, 2009). Sedangkan pada grafik hubungan gaya tekan dan deformasi seperti diatas, nilai kekakuan elastis didapat dari tangen arah kurva yang berbentuk linier. Setelah struktur tersebut mengalami fase elastis, fase plastis akan muncul bila beban terus ditambah. Di fase plastis inilah mulai terbentuk sendi plastis dan kemampuan elastis struktur mulai hilang yang berarti struktur tidak dapat kembali ke bentuk semula setelah dibebani. Fase plastis ditandai dengan mulai keluarnya retak awal. Jika beban terus ditingkatkan, maka struktur akan mencapai batas *ultimate* nya, yaitu ketika struktur tidak mampu menahan beban. Fase terakhir dari kekakuan adalah kekakuan runtuh yang terjadi setelah beban *ultimate* tercapai.

Menurut Park (1988) lendutan pada titik leleh dapat diambil dari titik potong beban yang mana beban diambil 75% dari beban *ultimate*.



Gambar 2.12. Beberapa alternatif pengambilan lendutan pada titik leleh

Sumber : Park (1988)

2.9 Perkuatan Kolom dengan Metode *Concrete Jacketing*

Perkuatan adalah upaya modifikasi suatu struktur dengan tujuan untuk menaikkan kekuatan, kekakuan, serta daktilitas struktur. Perkuatan pada struktur dilatar belakangi oleh kesalahan dalam implementasinya di lapangan, kerusakan elemen struktur yang terjadi

akibat bencana (gempa bumi) serta perubahan fungsi struktur yang mengakibatkan perbedaan antara beban rencana dengan beban desain.

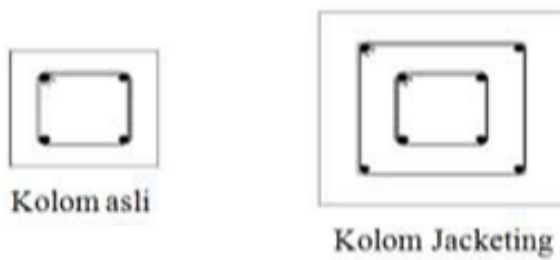
Retrofitting merupakan salah satu upaya dalam meningkatkan kekuatan dan daktilitas sebuah struktur yang telah rusak. Ada dua jenis *retrofitting* yang dapat dilakukan yaitu :

- *Repairing* adalah upaya dalam mengembalikan kekuatan dan daktilitas struktur yang telah rusak kembali seperti kondisi awal.
- *Strengthening* adalah upaya memberikan penambahan kekuatan atau perkuatan dari struktur yang telah ada dengan menambahkan material baru.

Pertimbangan pemilihan metode perkuatan meliputi pertimbangan efektivitas perkuatan, kemudahan dalam pelaksanaan atau pemasangannya, serta biaya yang diperlukan. Beberapa metoda perkuatan yang telah banyak diimplementasikan adalah memberi penyelubungan beton pada struktur (*Concrete Jacketing*), penyelubungan baja pada struktur (*Steel Jacketing*), memberi lapisan lembaran material komposit yang terbuat dari CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polimer*), GFRP (*Glasses Fiber Reinforced Polimer*) atau AFRP (*Aramid Fiber Reinforced Polimer*).

Sistem *concrete jacketing* adalah suatu sistem perkuatan beton yang bertujuan untuk memperbaiki struktur beton dengan cara memperbesar penampang dengan memberikan tambahan selimut beton yang sudah ada sebelumnya. Terdapat spesifikasi minimum yang harus dipenuhi menurut dokumen CED 39 (7428) antara lain :

- a. Mutu beton pembungkus yang harus lebih besar atau sama dari mutu beton existing.
- b. Untuk kolom yang tulangan longitudinal tambahan tidak dibutuhkan, minimum harus diberikan tulangan 12 mm di keempat ujungnya dengan sengkang 8 mm.
- c. Minimum tebal *jacketing* 100 mm
- d. Diameter tulangan sengkang minimum 8 mm tidak boleh kurang $\frac{1}{3}$ tulangan longitudinal.
- e. Jarak maksimal tulangan sengkang pada daerah $\frac{1}{4}$ bentang adalah 100 mm, dan jarak vertikal antar tulangan sengkang tidak boleh melebihi 100 mm.



Gambar 2.13. Tampak atas kolom dengan perkuatan *concrete jacketing*.

Metode *concrete jacketing* memiliki kelebihan dan kekurangan, adapun sebagai berikut:

a. Kelebihan:

1. Mampu meningkatkan daktilitas struktur dan kekuatan struktur yang meliputi kapasitas aksial, kapasitas lentur, dan kemampuan geser.
2. Mampu menambah kekakuan struktur.
3. Mampu meningkatkan stabilitas struktur.
4. Biaya perkuatan lebih ekonomis.

b. Kekurangan:

1. Ukuran kolom akan menjadi lebih besar sehingga akan mengurangi ruang kosong yang ada.
2. Jika penempatan *concrete jacketing* ini tidak diperhatikan dengan baik maka dapat menyebabkan kekakuan yang tidak merata.
3. Kemampuan kapasitas dari *concrete jacketing* lebih rendah dibandingkan perkuatan dengan *steel jacketing*.





BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang. Penelitian dimulai pada bulan September 2017 sampai selesai.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan beberapa bahan untuk mencapai tujuan penelitian, meliputi:

3.2.1 *Pozzolan Portland Cement*

Pozzolan Portland Cement yang digunakan pada penelitian ini adalah semen merk Semen Gresik dengan kemasan 40 kg. Sebelum penelitian, kemasan dipastikan dalam kondisi baik dan tersegel, serta tidak terjadi penggumpalan pada semen yang terdapat di dalam kemasan.

3.2.2 Agregat

Agregat yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar (kerikil) dan agregat halus (pasir). Agregat diperoleh dari daerah Malang dan melalui tahap pengujian terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai benda uji. Ukuran agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini yaitu berukuran maksimal 1 cm untuk kolom asli dan ukuran maksimal 0,5 cm untuk kolom retrofit. Tahap pengujian yang dilakukan pada agregat halus dan agregat kasar meliputi gradasi, kadar air, dan berat jenis.

3.2.3 Air

Air yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

3.2.4 Tulangan Baja

Tulangan bermaterialkan jenis baja yang digunakan pada penelitian ini berukuran Ø8 mm untuk tulangan longitudinal dan ukuran Ø6 mm untuk tulangan transversal. Tulangan longitudinal dan tulangan transversal yang bermaterialkan baja ini digunakan pada kolom asli. Untuk tulangan transversal pada kolom retrofit menggunakan tulangan bermaterialkan baja dengan ukuran Ø6 mm.

3.2.5 Tulangan Bambu

Tulangan bermaterialkan jenis bambu pada penelitian ini digunakan untuk tulangan longitudinal dengan menggunakan bambu jenis petung dengan 2 jenis dimensi yaitu: 1x1 cm dan 1x0.5 cm. Tulangan longitudinal yang bermaterialkan bambu ini digunakan pada kolom retrofit.

3.2.6 Bahan Perekat Beton

Bahan perekat beton digunakan dalam penelitian ini digunakan untuk merekatkan kolom asli yang akan diperbaiki dengan diretrofit. Sehingga kolom asli yang telah diberi bahan perekat akan menempel pada kolom retrofit pada saat pengecoran sehingga menghindari retakan antara kolom asli dengan kolom retrofit.

3.3 Peralatan Penelitian

Beberapa peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat untuk mempersiapkan material hingga proses pengujian benda uji. Peralatan yang digunakan berada di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

3.3.1 Saringan

Penelitian ini menggunakan saringan No. 1,5” hingga No. 4 untuk menentukan gradasi agregat kasar (kerikil) serta saringan No. 4 hingga No. 200 untuk gradasi agregat halus (pasir).

3.3.2 Timbangan

Timbangan digunakan untuk mengukur berat bahan penyusun beton serta benda uji silinder dan kubus. Timbangan yang digunakan adalah timbangan dengan kapasitas 200 kg dengan ketelitian 10 gram dan timbangan dengan kapasitas 5 kg dengan ketelitian 0,1 gram.

3.3.3 Mesin Pengaduk Beton

Mesin ini digunakan untuk mengaduk campuran bahan-bahan beton hingga menjadi campuran yang homogen.

3.3.4 Cetakan Benda Uji

Penelitian ini menggunakan cetakan/bekisting untuk benda uji silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm serta cetakan untuk benda uji kubus dengan ukuran 12 x 12 x 30 cm. Cetakan silinder terbuat dari baja yang dapat dibongkar pasang dan untuk cetakan kubus terbuat dari triplek yang juga dapat dibongkar pasang.

3.3.5 Alat Uji Tekan

Alat uji tekan digunakan untuk mengetahui kuat tekan dari benda uji beton sesungguhnya. Alat uji dalam penelitian ini adalah *Compression Test Machine*.

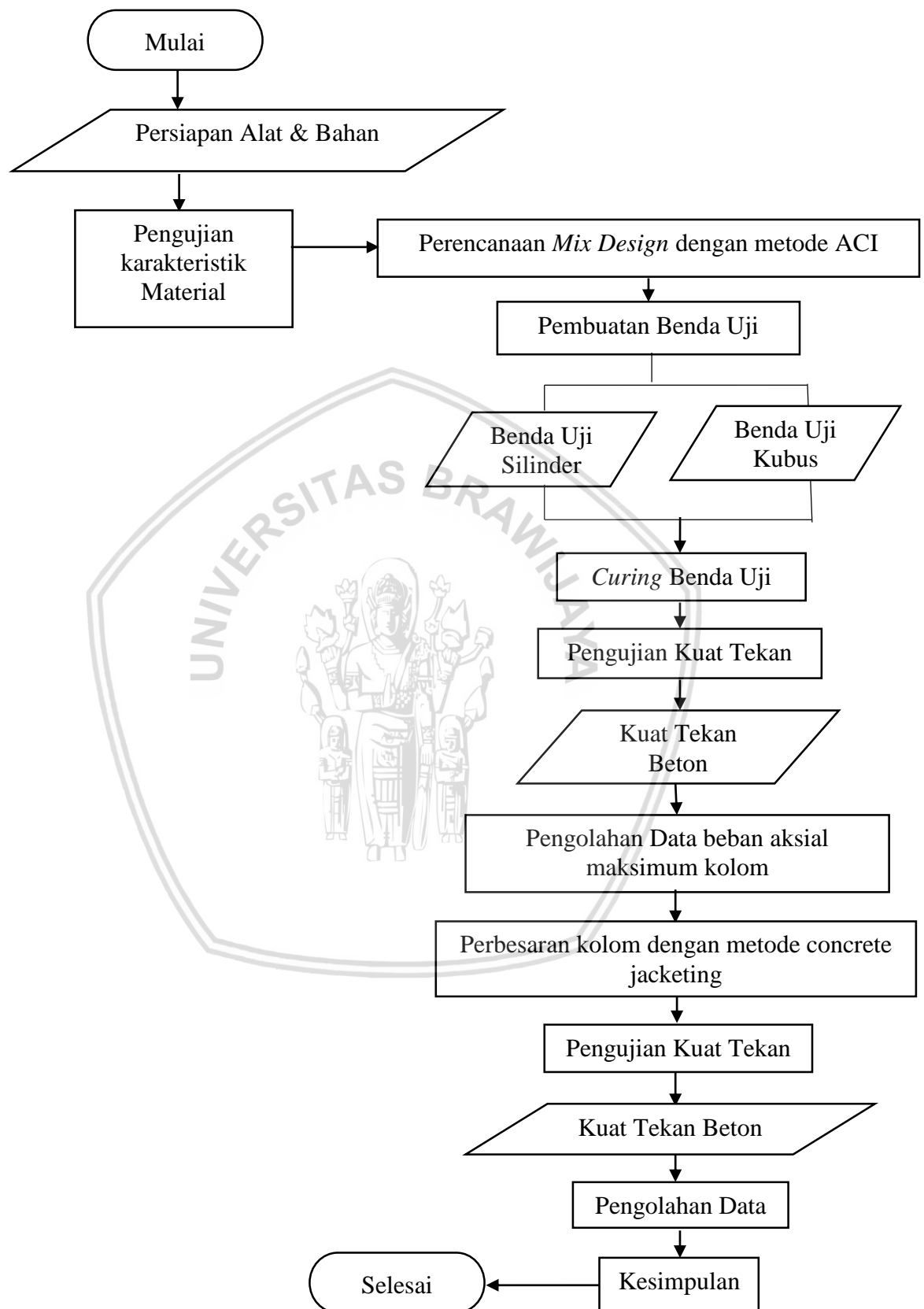
3.3.6 Dial Gauge Digital

Penelitian ini menggunakan alat tambahan *dial gauge digital* yang akan ditempelkan pada benda uji pada saat uji tekan. Dial ini berfungsi untuk mengetahui perpindahan dari benda uji pada saat diuji tekan sehingga setelah pengolahan data akan didapatkan regangan dari beton.

3.3.7 Alat Bantu Lainnya

Alat bantu lainnya antara lain ember, alat pengaduk, karung goni, serta bak air untuk proses perawatan benda uji.

3.4 Tahapan Penelitian



Gambar 3.1 Diagram alir tahapan penelitian

3.5 Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk kolom. Benda uji kolom asli dengan dimensi (12 x 12 x 30) cm sebanyak 12 *sample* menggunakan sengkang baja dengan jarak 14 cm. Dibuat benda uji silinder untuk mengetahui mutu beton dari benda uji kolom. Benda uji silinder yang digunakan sebanyak 4 *sample* untuk kolom asli dan 4 *sample* untuk kolom retrofit. Benda uji silinder memiliki diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Setelah 12 *sample* dilakukan pengujian tekan, benda uji diberikan variasi pada dimensi dan jumlah tulangan longitudinal bambu pada saat concrete jacketing. Dimensi kolom retrofit akan menjadi lebih besar yaitu (18 x 18 x 30)cm. Benda uji ini berbentuk kolom dan digunakan untuk pengujian tekan.

Rincian rancangan keseluruhan benda uji setelah retrofit adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Rancangan penelitian kolom retrofit dengan variasi jumlah dan dimensi tulangan longitudinal.

Kode	Dimensi Tulangan (cm)	Jumlah Tulangan (buah)	rho	Sengkang Bambu		Sengkang Baja	
				1	2	3	4
				9,3 cm	14 cm	9,3 cm	14 cm
A	1 x 1	4	1,23	3 sampel	3 sampel	3 sampel	3 sampel
B	1 x 0,5	8	1,23	3 sampel	3 sampel	3 sampel	3 sampel
C	1 x 2	4	2,47	3 sampel	3 sampel	3 sampel	3 sampel
D	1 x 1	8	2,47	3 sampel	3 sampel	3 sampel	3 sampel

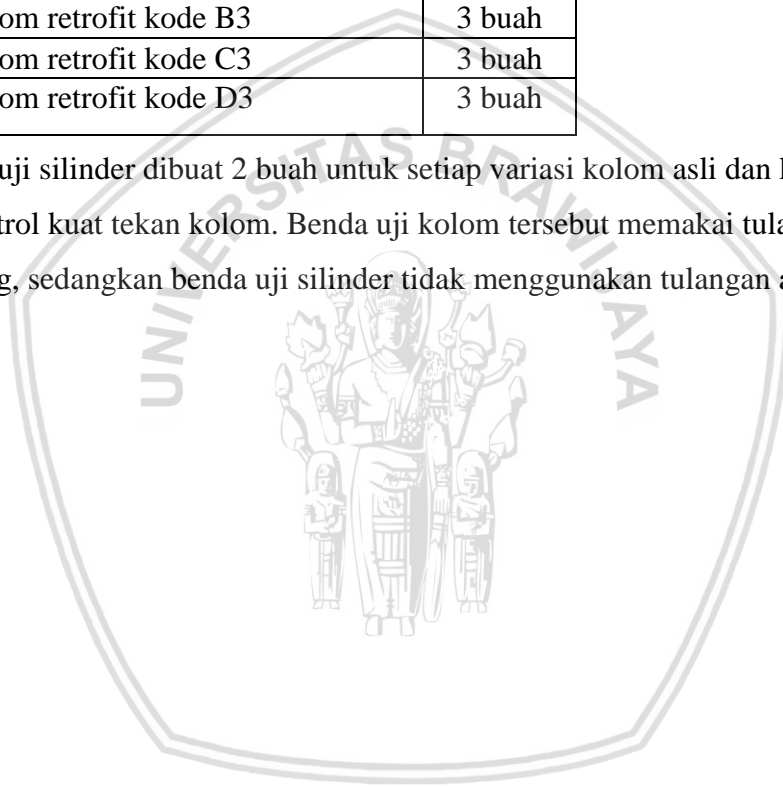
Pada penelitian ini dikhususkan menggunakan kolom retrofit bambu bersengkang baja dengan kode kolom A3, B3, C3, dan D3. Yaitu, kolom retrofit kode A3 dengan menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 1 x 1 cm dan dengan jarak antar tulangan transversal baja 9,3 cm dan kolom retrofit kode C3 dengan menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 4 buah dengan ukuran 1 x 2 cm dan dengan jarak antar tulangan transversal baja 9,3 cm. Kolom retrofit kode B3 dengan menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 8 buah dengan ukuran 1 x 0,5 cm dan dengan jarak antar tulangan transversal baja 9,3 cm dan kolom retrofit kode D3 dengan menggunakan tulangan longitudinal bambu sebanyak 8 buah dengan ukuran 1 x 1 cm dan dengan jarak antar tulangan transversal baja 9,3 cm. Sehingga nanti pada hasil penelitian akan didapatkan efisiensi jumlah dan dimensi tulangan longitudinal kolom retrofit yakni kolom A3 dibandingkan dengan kolom B3 dan kolom C3 dibandingkan dengan kolom D3.

Jumlah benda uji kolom asli terdiri dari 4 buah benda uji silinder sampel kolom asli dan 12 buah benda uji kolom asli. Sedangkan jumlah benda uji kolom retrofit yakni 4 buah benda uji silinder sampel kolom retrofit dan 12 buah benda uji kolom retrofit. Semua benda uji ini digunakan untuk pengujian tekan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Jumlah benda uji

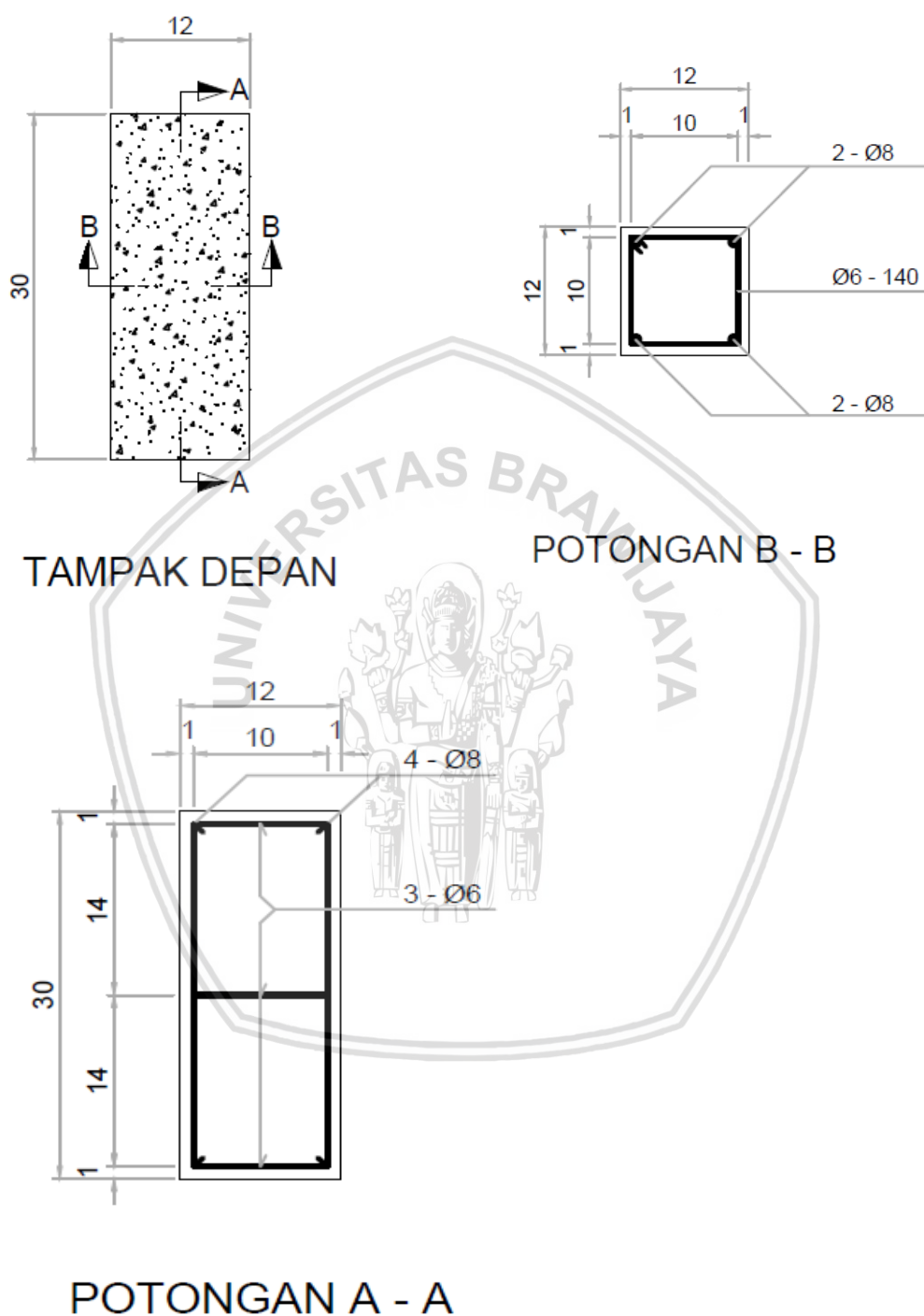
Varian	Jumlah
Benda uji silinder sampel kolom asli	8 buah
Benda uji kolom asli	12 buah
Benda uji silinder sampel kolom retrofit	8 buah
Benda uji kolom retrofit kode A3	3 buah
Benda uji kolom retrofit kode B3	3 buah
Benda uji kolom retrofit kode C3	3 buah
Benda uji kolom retrofit kode D3	3 buah

Benda uji silinder dibuat 2 buah untuk setiap variasi kolom asli dan kolom retrofit untuk mengontrol kuat tekan kolom. Benda uji kolom tersebut memakai tulangan atau beton bertulang, sedangkan benda uji silinder tidak menggunakan tulangan atau hanya beton saja.



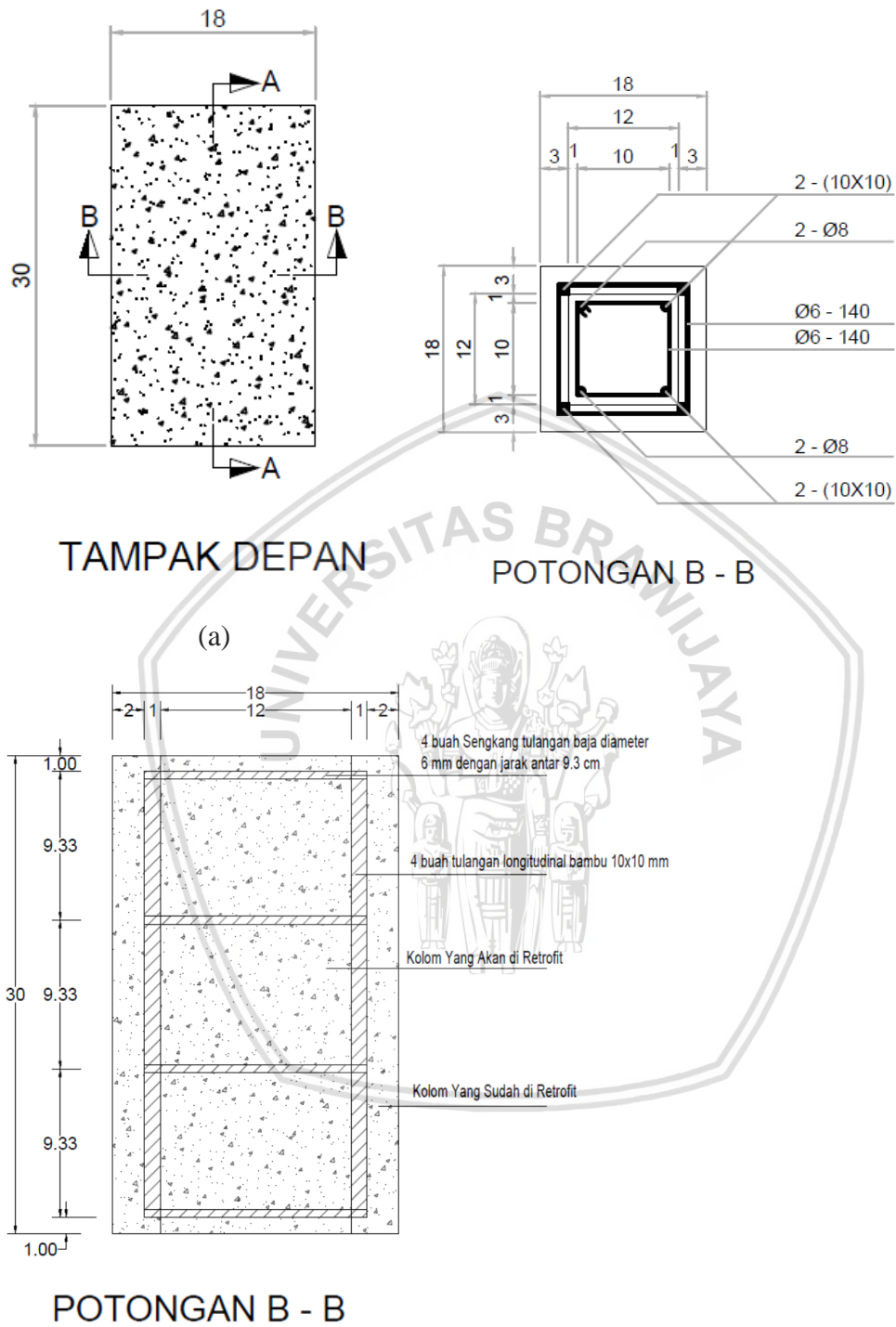
Pemodelan benda uji pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Benda uji kolom asli



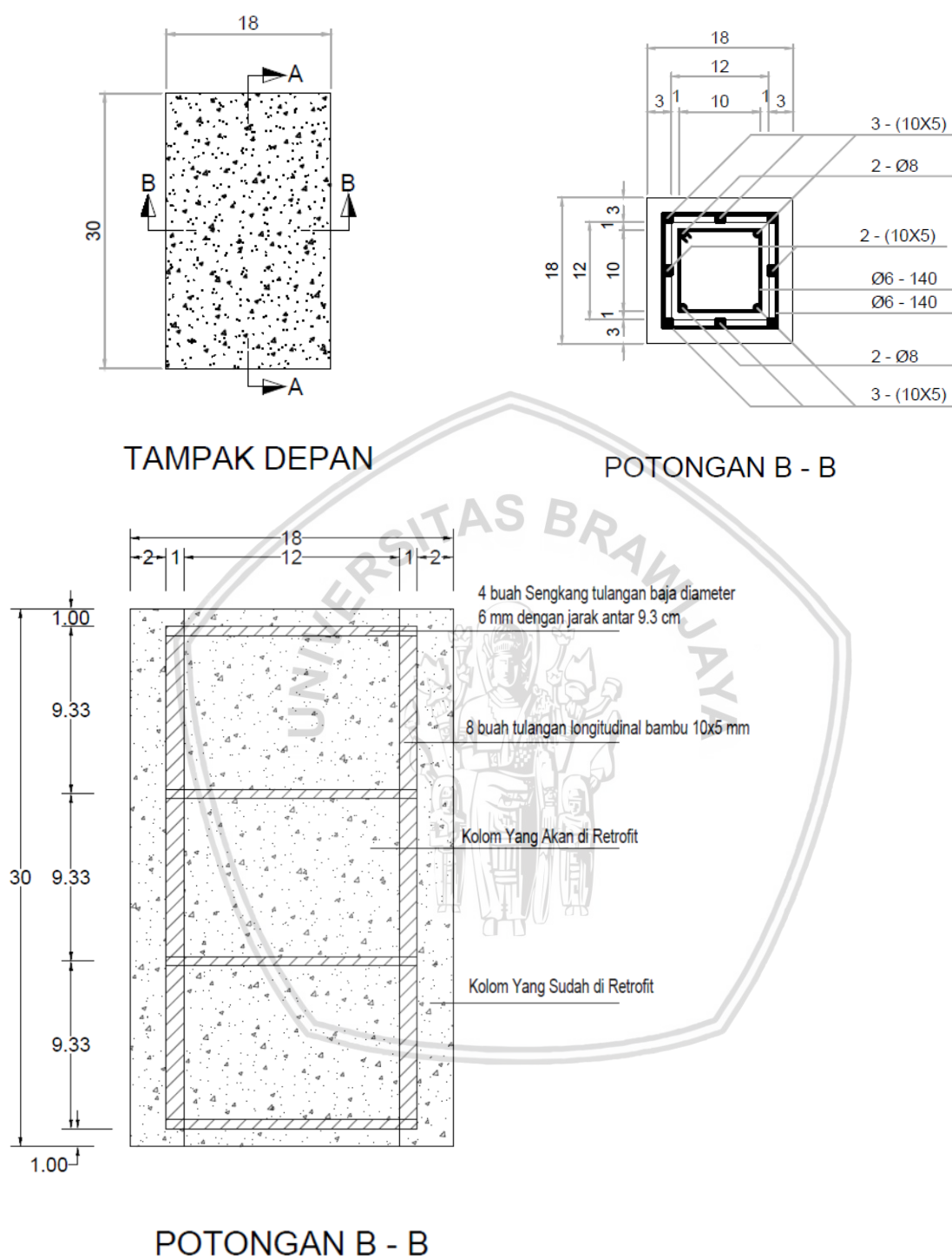
Gambar 3.2 Benda uji kolom asli

- Benda uji kolom retrofit kode A3



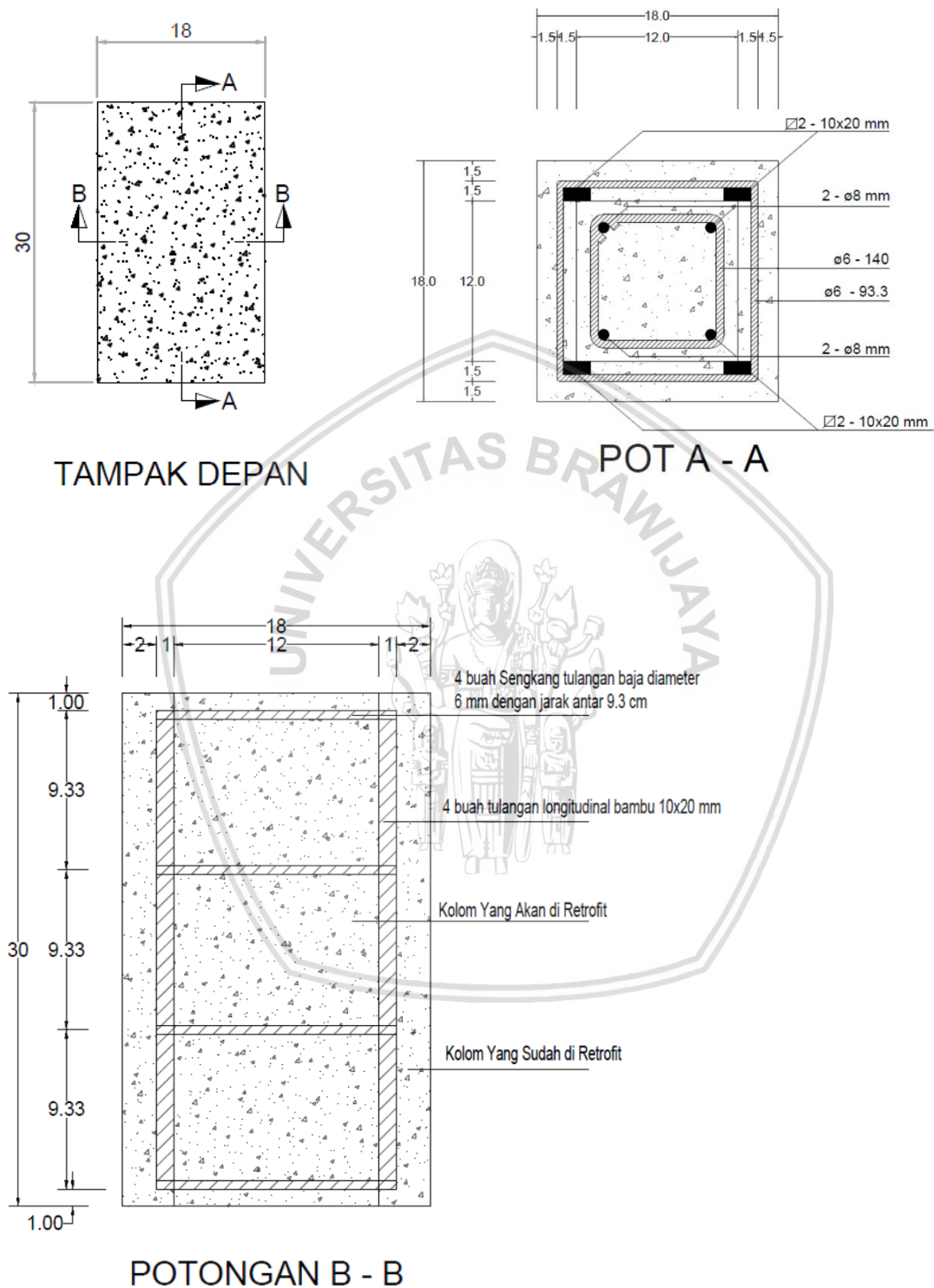
Gambar 3.3 Benda uji kolom retrofit kode A3

- Benda uji kolom kode retrofit B3



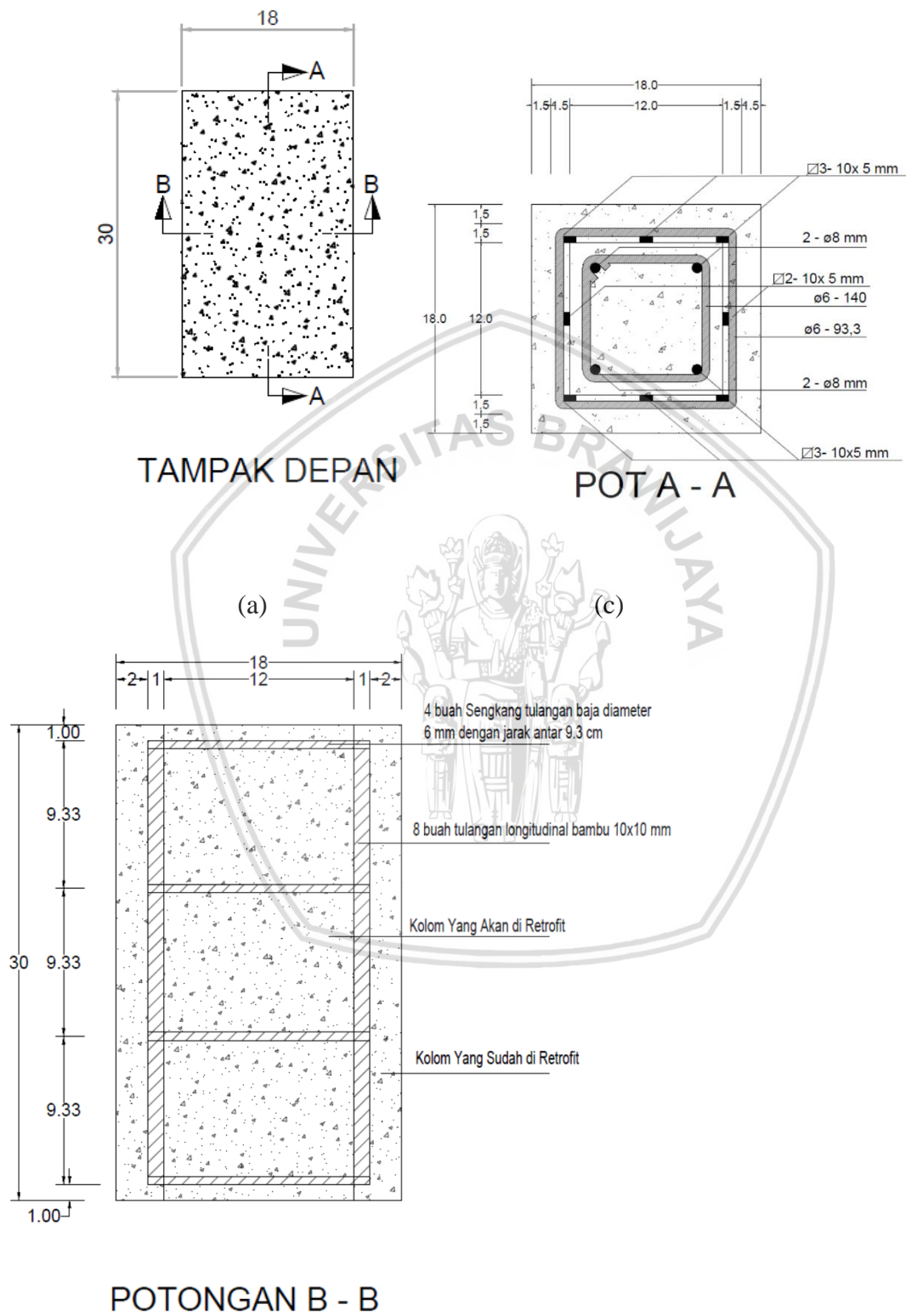
Gambar 3.4 Benda uji kolom kode retrofit B3

- Benda uji kolom kode retrofit C3



Gambar 3.5 Benda uji kolom kode retrofit C3

- Benda uji kolom kode retrofit D3



Gambar 3.6 Benda uji kolom kode retrofit D3

3.6 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang akan diukur adalah sebagai berikut:

- a. Variabel bebas (*independent variable*), yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti. Dalam penelitian ini, yang menjadi variabel bebas adalah variasi tulangan longitudinal untuk kolom retrofit.
- b. Variabel terikat, yaitu variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas. Variabel terikat dari penelitian ini adalah gaya tekan, modulus elastisitas, kekakuan dan daktilitas kolom retrofit.

3.7 Prosedur Penelitian

3.7.1 Pengujian Bahan Dasar

Pengujian bahan dasar yang akan digunakan mengacu pada buku petunjuk praktikum teknologi beton dari Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya. Bahan dasar yang diuji adalah agregat halus (pasir) dan agregat kasar (kerikil). Unsur-unsur dalam pengujian karakteristik agregat halus dan kasar meliputi: analisis butiran, pengujian berat jenis penyerapan, dan kadar air.

3.7.2 Pembuatan Benda Uji

Langkah-langkah pembuatan benda uji kolom asli adalah sebagai berikut:

1. Bahan penyusun beton disiapkan dengan kuantitas sesuai *mix design*.
2. Bahan-bahan tersebut dimasukkan ke dalam alat pengaduk kemudian diaduk selama kurang lebih 15 menit hingga campuran menjadi homogen.
3. Setelah proses pengadukan, diambil sebagian adonan beton untuk dilakukan pengujian *slump*.
4. Cetakan disiapkan dengan memberikan lapisan tipis dari oli dan diberikan tulangan baja untuk kolom asli.
5. Campuran beton dituang ke dalam cetakan silinder dan kolom.

Langkah-langkah pembuatan benda uji kolom retrofit adalah sebagai berikut:

1. Bahan penyusun beton disiapkan dengan kuantitas sesuai *mix design*.

2. Bahan-bahan tersebut dimasukkan ke dalam alat pengaduk kemudian diaduk selama kurang lebih 15 menit hingga campuran menjadi homogen.
3. Setelah pengadukan, diambil sebagian adonan beton untuk dilakukan pengujian *slump*.
4. Cetakan disiapkan dengan memberikan lapisan tipis dari oli.
5. Benda uji kolom asli yang telah diuji tekan dan telah diberi perkuatan dengan menggunakan tulangan bambu petung dan sengkang baja diberi lem perekat agar beton kolom asli dapat merekat dengan baik dengan beton baru untuk kolom retrofit. Setelah itu, kolom dimasukkan kedalam bekisting yang telah disediakan.
6. Campuran beton dituang ke dalam cetakan silinder dan kolom

3.7.3 Perawatan Benda Uji

Setelah 72 jam cetakan benda uji silinder dan kubus dibuka dan dilakukan perawatan dengan tujuan agar semen terhidrasi dengan sempurna. Perawatan benda uji meliputi dua cara antara lain:

1. Benda uji direndam dalam bak berisi air dengan suhu $23^{\circ}\text{C} - 28^{\circ}\text{C}$.
2. Benda uji diselimuti dengan karung goni basah dan tiap hari dibasahi terus menerus dengan air.

Pada penelitian ini digunakan perawatan benda uji dengan cara benda uji diselimuti menggunakan karung goni basah sehingga tiap hari dibasahi secara terus menerus dengan air. Perawatan benda uji dilakukan selama 28 hari.

3.7.4 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tekan dari benda uji beton yang telah berumur 28 hari. Prosedur yang dilakukan dalam pengujian kuat tekan adalah sebagai berikut:

- a. Uji tekan beton silinder
 1. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji beton sebagai data tambahan.
 2. Pada permukaan atas benda uji dilapisi (*caping*) dengan mortar belerang bertujuan agar tegangan yang diberikan mesin penguji dapat terdistribusi secara merata pada permukaan beton.
 3. Benda uji diletakkan pada mesin uji secara sentris.

4. Mesin uji tekan dijalankan dengan penambahan beban secara konstan hingga benda uji hancur.
5. Beban saat beton hancur dicatat untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat diterima beton.

b. Uji tekan kolom

1. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji sebagai data tambahan.
2. Pada permukaan atas benda uji kolom diberi potongan kardus dengan tujuan agar tegangan yang diberikan mesin penguji dapat terdistribusi secara merata pada permukaan beton. Pada permukaan bawah benda uji kolom diberi plat memanjang yang berfungsi sebagai penampang dial.
3. Benda uji diletakkan pada mesin uji secara sentris.
4. Mesin uji tekan dijalankan dengan penambahan beban secara konstan hingga benda uji hancur. Dan untuk mendapatkan data perubahan panjang dari benda uji, digunakan dial yang berguna untuk membaca hasil perubahan panjang pada saat setiap penambahan beban. Pada setiap penambahan beban, data hasil bacaan tersebut dicatat untuk mendapatkan grafik hubungan gaya tekan dan defleksi serta grafik hubungan tegangan dan regangan beton.
5. Beban saat beton hancur dicatat untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat diterima beton.
6. Dan langkah yang sama dilakukan kembali mulai langkah 1 untuk mendapatkan data yang sama pada kolom retrofit.



Gambar 3.7. Pengujian kuat tekan kolom asli.



Gambar 3.8. Pengujian kuat tekan kolom retrofit.

3.7.5 Pengujian Kuat Tarik

Pengujian kuat tarik ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kuat tarik dari tulangan baja dengan dimensi $\varnothing 6$ mm dan $\varnothing 8$ mm. Prosedur yang dilakukan dalam pengujian kuat tarik baja adalah sebagai berikut:

1. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji terlebih dahulu diukur diameternya dengan jangka sorong untuk mengetahui diameter sebenarnya tulangan tersebut.
2. Menyiapkan kertas millimeter blok untuk tempat hasil pembacaan tegangan regangan tarik dari benda uji dapat tergambar.
3. Benda uji diletakkan pada mesin uji tarik. Benda uji harus dalam keadaan terjepit bagian atas dan bawahnya dengan kuat.
4. Mesin uji tekan dijalankan hingga benda uji putus.
5. Pada saat pengujian akan terlihat jarum pertama kali berhenti yang menunjukkan tegangan leleh dan pada pemberhentian jarum kedua yang menunjukkan kuat tarik maksimum. Setelah itu akan didapatkan grafik tegangan tarik dari benda uji.
6. Grafik yang didapat dari hasil pengujian akan di analisis.

3.8 Metode Analisis

Dari pengujian yang telah dilakukan diambil beberapa data-data yang diperlukan. Pengujian kuat tekan menghasilkan data-data beban maksimum yang kemudian dikonversikan menjadi gaya tekan dari setiap benda uji beton dan data perubahan panjang dari kolom yang akan dikonversikan menjadi defleksi. Data-data tersebut kemudian dikelompokkan berdasarkan masing-masing variasi dari beton.

Tabel 3.3 Form pengumpulan data dari pengujian kuat tekan kolom asli dan kolom retrofit.

NO	Kode Benda Uji	Umur (Hari)	Slump (cm)	Berat Kolom (kg)	Kuat Tekan Beton (fc') (Mpa)
Kuat Tekan Kolom Maksimum Aktual (kN)			Rata-Rata Kuat Tekan Maksimum Aktual (kN)		

Tabel 3.4 Form pengumpulan data dari pengujian kuat tekan beton silinder untuk sampel kolom asli dan kolom retrofit.

NO	Kode Benda Uji	Umur (Hari)	Slump (cm)	Berat (kg)	Beban Maksimum (kN)	Gaya Tekan (Mpa)	Gaya Tekan Rata-Rata (Mpa)
----	----------------	-------------	------------	------------	---------------------	------------------	----------------------------

Tabel 3.5 Form pengumpulan data dari pengujian kuat tekan kolom asli dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Beton (fc') (Mpa)	Kekuatan Maksimum Kolom (Pu) Secara Aktual (kN)
----	----------------------	------------------------------	---

Tabel 3.6 Form pengumpulan data dari pengujian kuat tarik tulangan baja Ø6 mm dan Ø8 mm

Benda Uji	Diameter (mm)	Tegangan Leleh (fy) (Mpa)	Tegangan Ultimit (Mpa)
-----------	---------------	---------------------------	------------------------

Tegangan Leleh Rata-Rata (Mpa)	Tegangan Ultimit Rata-Rata (Mpa)
--------------------------------	----------------------------------

3.8.2 Pengolahan Data

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan tegangan-regangan kolom retrofit, kapasitas aksial tekan dan defleksi kolom retrofit, kekakuan dan modulus elastisitas

Tabel 3.9 Form perbandingan kuat beban aksial nominal kolom secara teoritis dengan kuat tekan beban aksial ultimate secara aktual kolom retrofit.

NO	Kode Benda Uji Kolom Retrofit	Kuat Tekan Beton (fc')	Kuat Beban Aksial Nominal Kolom (Pn) Secara Teoritis	Kuat Beban Aksial Ultimate Kolom (Pu) Secara Aktual
		(Mpa)	kN	kN

Tabel 3.10 Form pengolahan data hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

No	Gaya Tekan	Tegangan	Defleksi	Regangan
	Kn	kN/mm ²	mm	

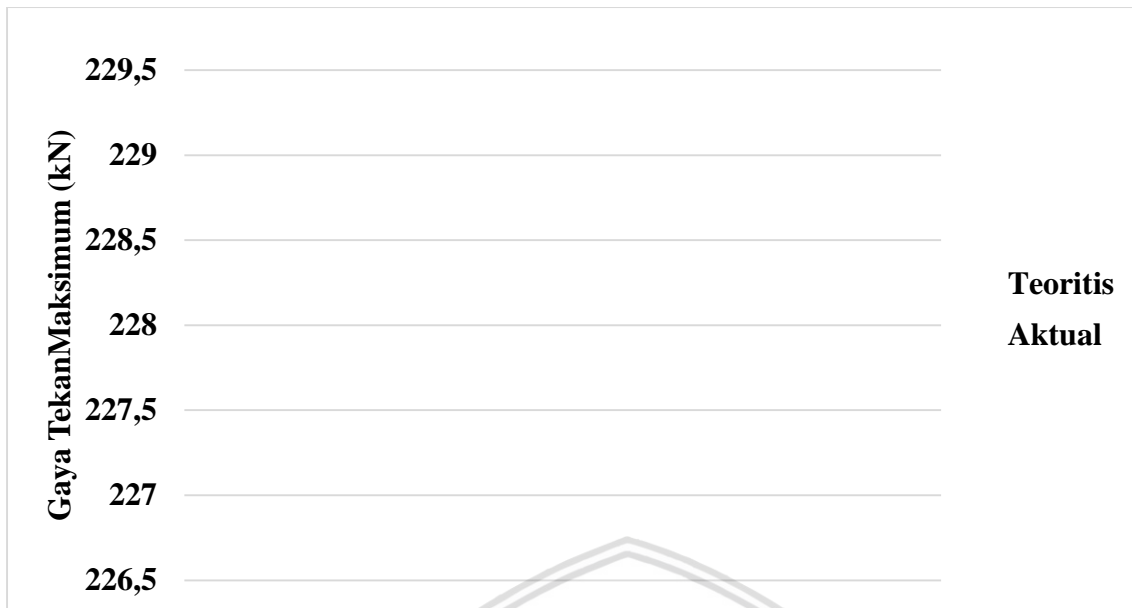
Tabel 3.11 Form pengolahan data rata-rata dari hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

No	Defleksi Mm	Regangan	A.3.1		A.3.2	
			Gaya Tekan kN	Tegangan kN/mm ²	Gaya Tekan kN	Tegangan kN/mm ²

A.3.3		RATA – RATA	
Gaya Tekan Kn	Tegangan kN/mm ²	Gaya Tekan kN	Tegangan kN/mm ²

[illegible]

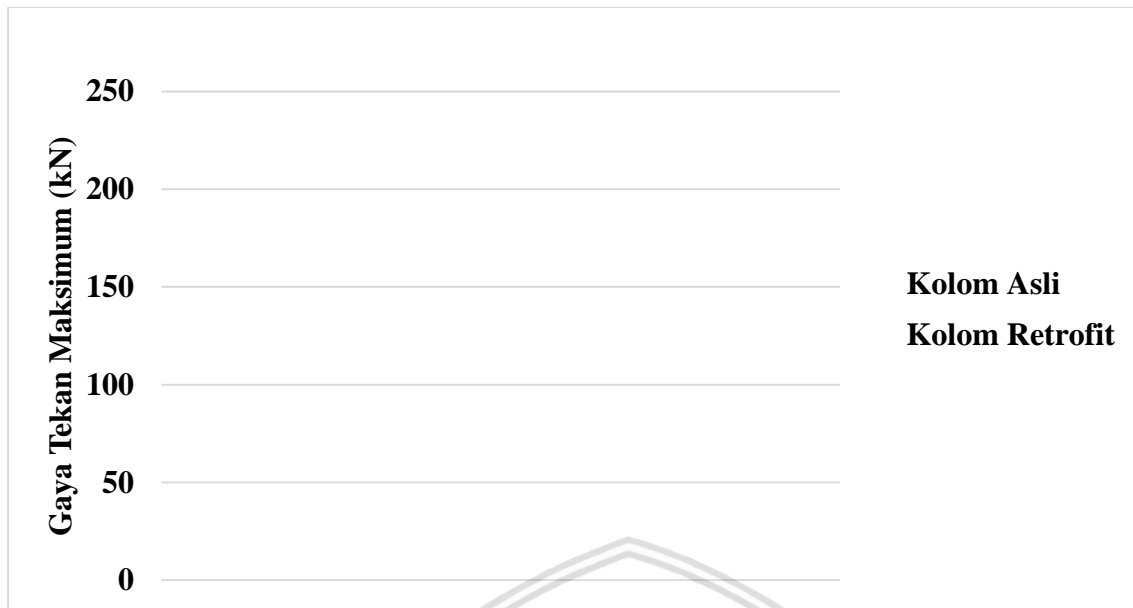
Gambar 3.10. Grafik perbandingan uji tekan beton silinder kolom asli dengan kolom retrofit.



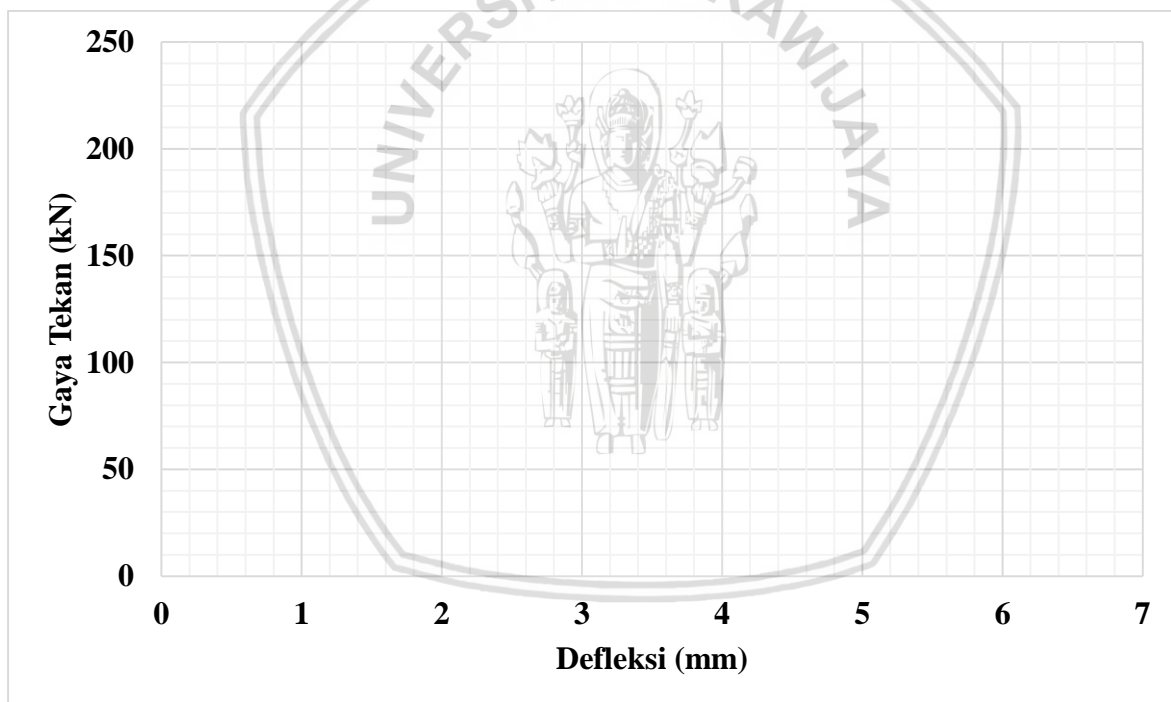
Gambar 3.11. Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum kolom asli secara teoritis dengan aktual



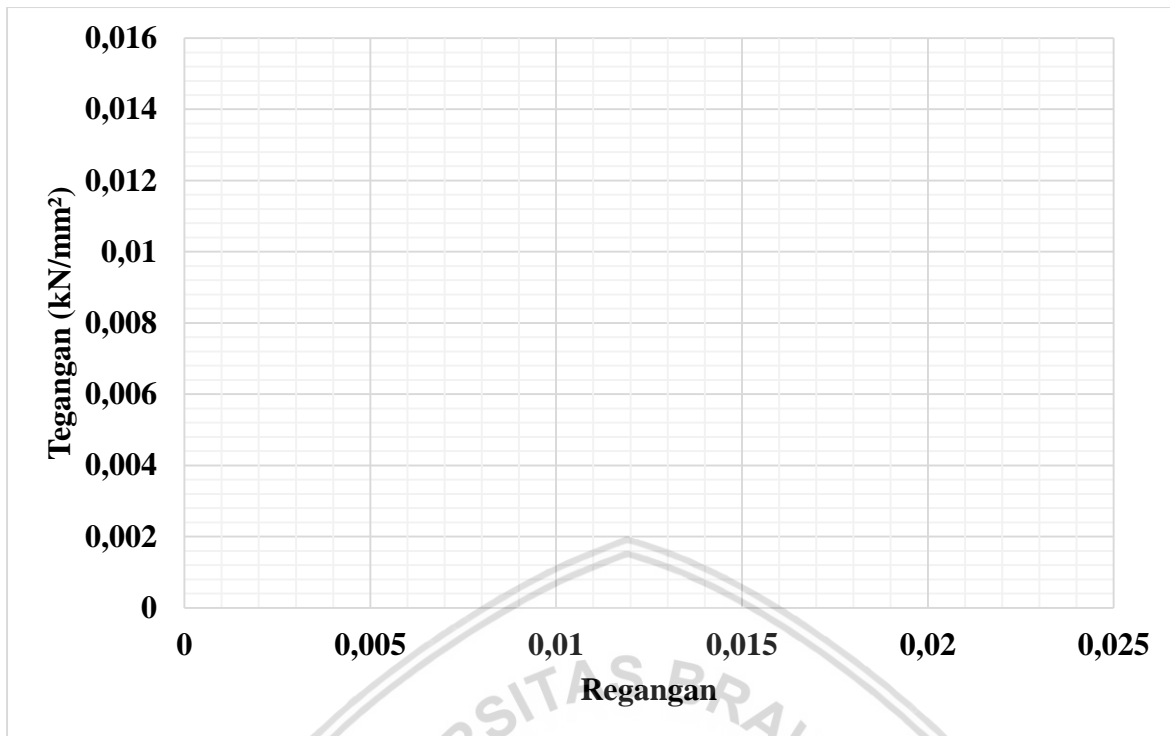
Gambar 3.12. Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum kolom retrofit secara teoritis dengan aktual



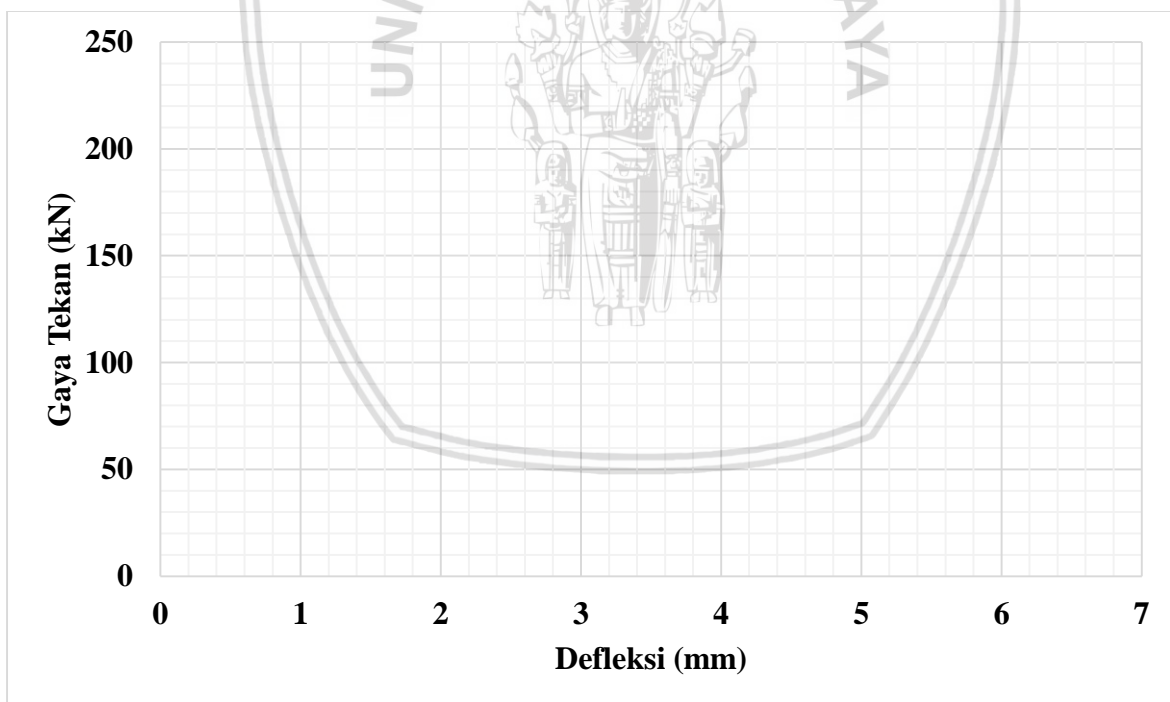
Gambar 3.13. Grafik perbandingan hasil gaya tekan maksimum kolom asli dengan retrofit



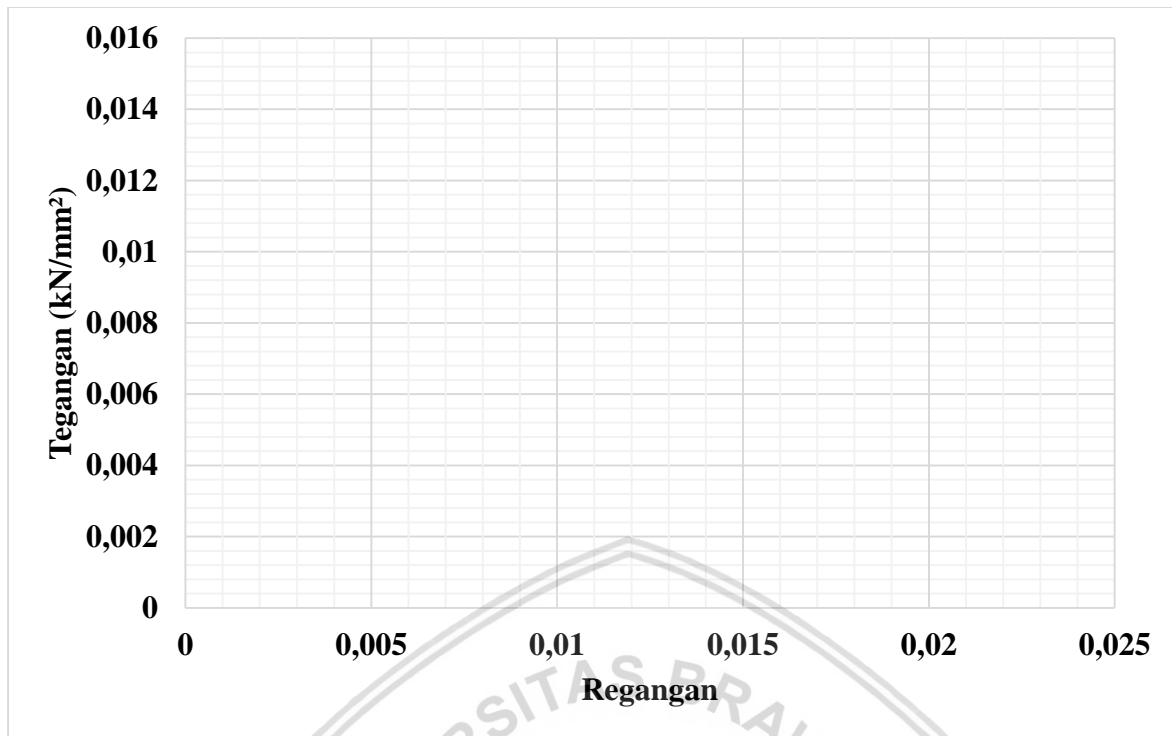
Gambar 3.14. Grafik hubungan gaya tekan dan defleksi kolom asli



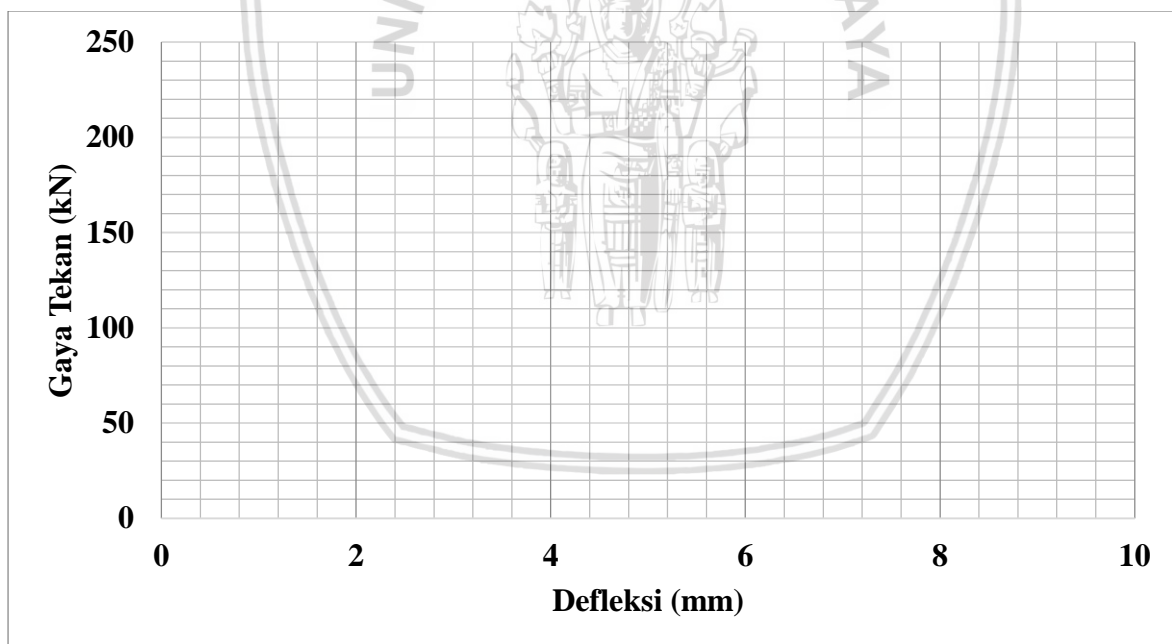
Gambar 3.15. Grafik hubungan tegangan dan regangan kolom asli



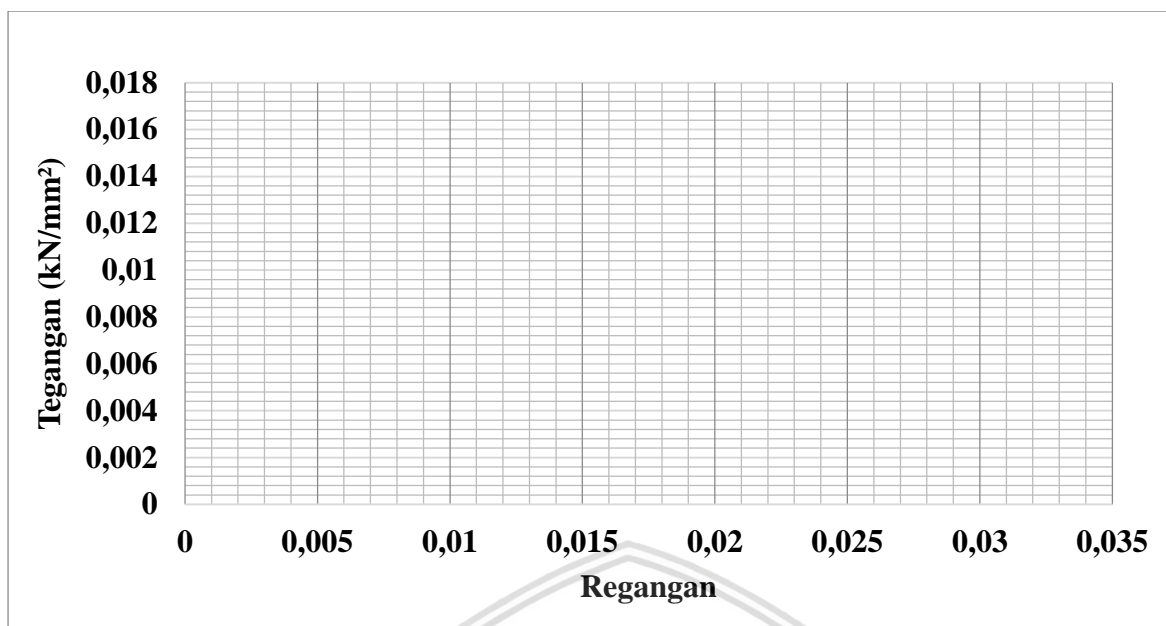
Gambar 3.16. Grafik hubungan gaya tekan dan defleksi kolom retrofit



Gambar 3.17. Grafik hubungan tegangan dan regangan kolom retrofit



Gambar 3.18. Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli dengan kolom retrofit



Gambar 3.19. Grafik perbandingan hasil tegangan dan regangan kolom asli dengan kolom retrofit.

3.9 Hipotesis Penelitian

Dari tinjauan pustaka yang telah dibahas diatas, maka didapatkan hipotesis untuk penelitian ini sebagai berikut :

1. Diduga gaya tekan maksimum kolom retrofit dengan jumlah tulangan longitudinal yang banyak akan lebih besar dibandingkan dengan gaya tekan maksimum kolom retrofit dengan jumlah tulangan longitudinal yang sedikit.
2. Diduga nilai kekakuan, modulus elastisitas dan daktilitas pada kolom retrofit dengan jumlah tulangan longitudinal yang banyak akan lebih besar dibandingkan dengan kolom retrofit dengan jumlah tulangan longitudinal yang sedikit.
3. Diduga semakin banyak jumlah tulangan longitudinal pada kolom retrofit, maka akan lebih efektif dibandingkan pemasangan tulangan longitudinal yang sedikit pada kolom retrofit

(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisa Bahan

4.1.1 Agregat Kasar

Hasil pemeriksaan agregat kasar adalah sebagai berikut :

1. Modulus halus = 1.27663
2. Berat Jenis (SSD) = 2.65326
3. Berat Satuan = 1427.59839 gr/cm³
4. Absorpsi = 5.57414 %

4.1.2 Agregat Halus

Hasil pemeriksaan agregat halus adalah sebagai berikut :

1. Modulus halus = 4.97085
2. Berat Jenis (SSD) = 2.67641
3. Berat Satuan = 1528.68175 gr/cm³
4. Absorpsi = 1.09179 %

4.1.3 Air

Penelitian ini menggunakan air bersih dari Perusahaan Air Minum (PDAM) Kota Malang dan dianggap telah memenuhi syarat sebagai bahan pencampur semen dengan agregat, sehingga dalam penelitian tidak dianalisis lebih lanjut.

4.1.4 Baja Tulangan

Pengujian baja tulangan akan menghasilkan tegangan leleh dan tegangan ultimate atau yang disebut tegangan maksimum. Pengujian tegangan tulangan baja dilakukan di Laboratorium Struktur Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Brawijaya Malang. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4.1 Uji Tulangan Baja

Benda Uji	Diameter (mm)	Tegangan Leleh (fy) (Mpa)	Tegangan Ultimate (Mpa)	Tegangan Leleh Rata- Rata (Mpa)	Tegangan Ultimate Rata- Rata (Mpa)
1A	7.6	266.73	357.11	266.73	357.11
1B	7.6	266.73	357.11		
2A	5.7	168.51	321.35	168.51	321.35
2B	5.7	168.51	321.35		

4.2 Campuran Beton

Perbandingan campuran beton berdasarkan teori perancangan proporsi campuran adukan beton dengan ketentuan ACI halaman 22 . Dilakukan perhitungan perbandingan campuran beton dan didapatkan proporsi bahan berdasarkan perbandingan berat sebagai berikut :

Semen : Air : Pasir : Kerikil = 1 : 0,599 : 2,221 : 2,326

4.3 Pengujian Beton Segar

Pengujian pada beton segar yaitu pengujian slump (*Slump Test*). Tujuan dilakukannya pengujian slump yaitu untuk mengetahui workability beton segar sebelum diaplikasikan dalam pekerjaan pengecoran. Alat yang digunakan adalah “kerucut Abrams”. Pada penelitian ini menggunakan FAS sebesar 0,6, maka didapatkan nilai rata-rata slump 8 untuk beton kolom asli (12 x 12 x 30) cm dan kolom retrofit (18 x 18 x 30 cm) dengan nilai slump 8 untuk beton kolom retrofit kode A, nilai slump 10 untuk beton kolom retrofit kode B, dan nilai slump 9 untuk beton kolom retrofit kode C dan D.



Gambar 4.1. Uji Slump

Tabel 4.2 Tabel hasil uji slump beton benda uji silinder uji kolom asli

No	Kode Benda Uji	Slump
		(cm)
1	A3	8
2	B3	8
3	C3	8
4	D3	8

Tabel 4.3 Tabel Hasil Uji Slump Beton Benda Uji Silinder Kolom Retrofit

No	Kode Benda Uji	Slump
		(cm)
1	A3	8
2	B3	10
3	C3	9
4	D3	9

Terlihat pada table 4.3 hasil uji slump menghasilkan nilai yang berbeda-beda, namun hal ini tidak menjadi masalah karena slump didesain menggunakan nilai (6-18) cm. Untuk nilai sump dari hasil pengujian beton yang digunakan masih dalam syarat yang telah ditentukan.

4.4 Pembuatan Benda Uji Beton Silinder

Pembuatan benda uji beton silinder sebanyak 2 buah benda uji, dengan gaya tekan untuk setiap variasi kolom asli dan retrofit. Bertujuan untuk mengetahui gaya tekan beton (f'_c) dari setiap benda uji kolom asli dan retrofit sehingga dapat mengontrol kuat yang dihasilkan dengan kuat tekan yang direncanakan. Benda uji silinder memiliki diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Dari hasil pengujian kuat tekan beton silinder ini akan digunakan untuk pengolahan data selanjutnya.

$$f'_c = \frac{P_{max}}{A}$$

Dimana :

f'_c = Gaya tekan beton (MPa)

P_{max} = Beban maksimum (kN)

A = Luas tekan penampang (mm^2)

Gambar 4.2 menampilkan gambar pengujian gaya tekan beton silinder, dan untuk hasil pengujian gaya tekan beton silinder ditampilkan pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5.



Gambar 4.2. Uji tekan beton silinder

Tabel 4.4 Hasil uji kuat tekan beton benda uji silinder kolom asli

NO	Kode		Slump	Berat	Beban	
	Benda	Umur			Maksimum	Gaya Tekan
	Uji	(Hari)	(cm)	(kg)	(kN)	(Mpa)
1	A1	28	8	12,25	338	19,13
2	A2		8	12,45	286	16,18
3	B1		8	12,4	360	20,37
4	B2	28	8	12,5	345	19,52
5	C1		8	12,4	329	18,62
6	C2		8	12,5	363	20,54
7	D1	28	8	12,4	362	20,49
8	D2		8	12,45	352	19,92

Tabel 4.5 Hasil uji kuat tekan beton benda uji silinder kolom retrofit

NO	Kode		Slump	Berat	Beban	
	Benda	Umur			Maksimum	Gaya Tekan
	Uji	(Hari)	(cm)	(kg)	(kN)	(Mpa)
1	A1	28	8	12,6	447	25,30
2	A2		8	12,65	416	23,54
3	B1		10	12,4	293	16,58
4	B2	28	10	12,55	346	19,58
5	C1		9	12,55	313	17,71
6	C2		9	12,6	331	18,73
7	D1	28	9	12,4	415	23,48
8	D2		9	12,3	454	25,69

Pada tabel 4.4 dan tabel 4.5 dapat dilihat nilai gaya tekan beton uji silinder kolom asli dan kolom retrofit, dan untuk mutu beton yang direncanakan pada perencanaan *mix design* sebesar 17.5 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa beton yang digunakan mendekati dengan perencanaan *mix design*.

Berikut merupakan contoh perhitungan gaya tekan beton (Beton A3 benda uji silinder sampel benda uji kolom asli) :

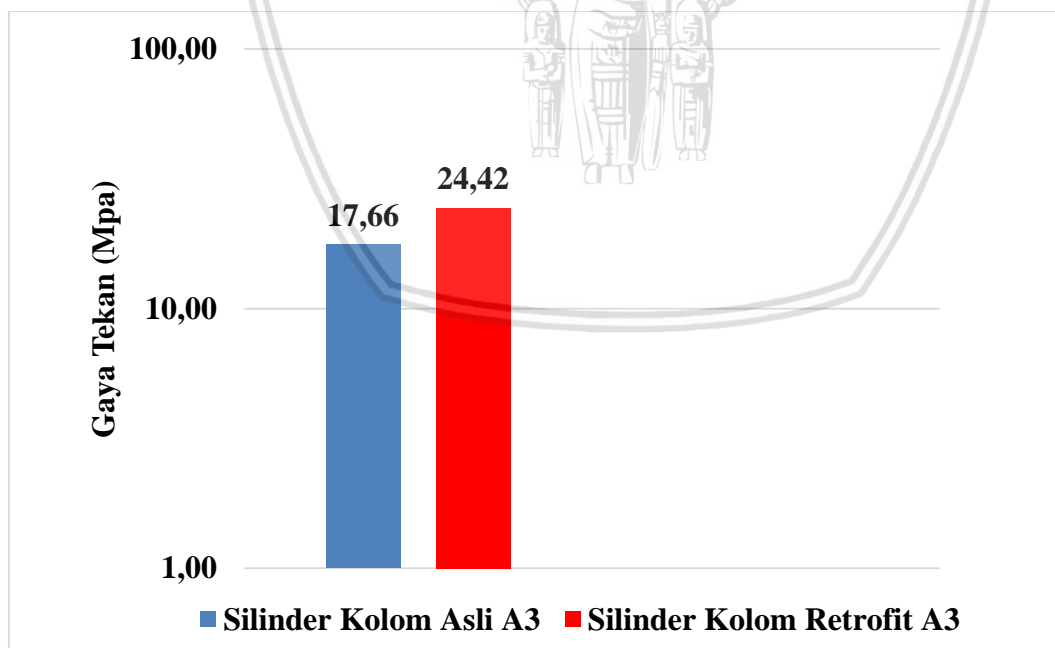
Dik : $P_{max} = 447 \text{ kN} = 447000 \text{ N}$

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 150^2 \\ &= 17671,46 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

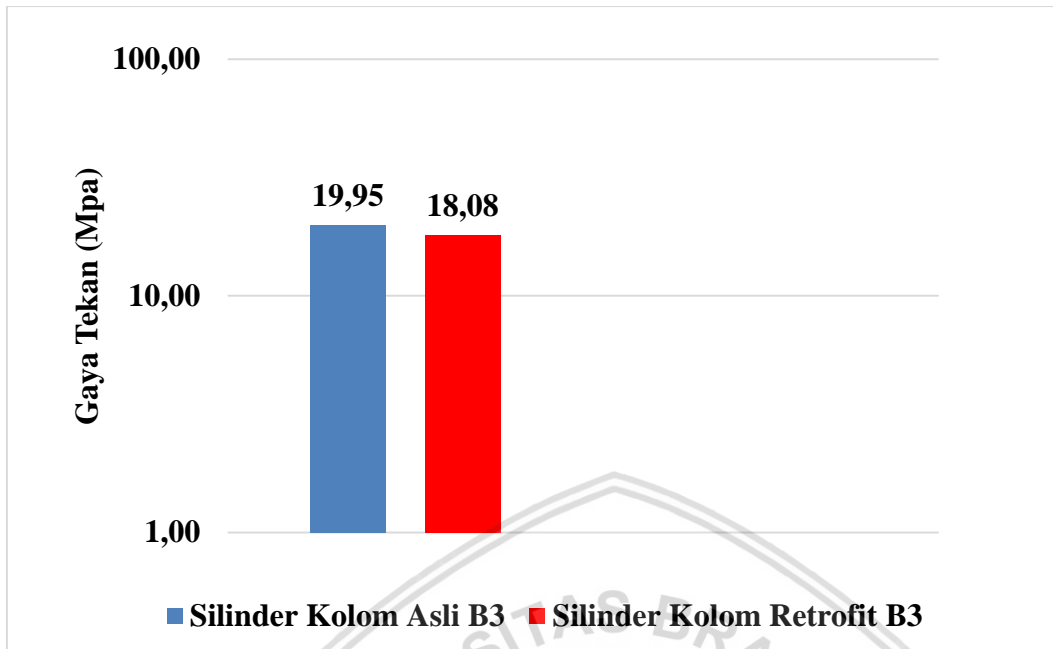
Dit : f'_c ?

Jawab :

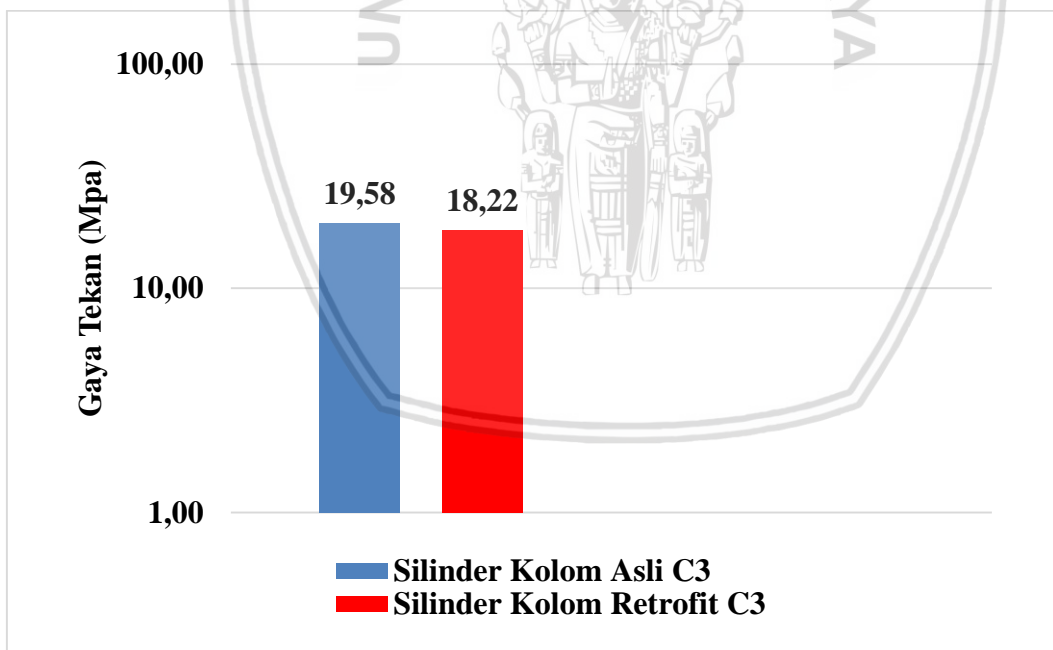
$$\begin{aligned} f'_c &= \frac{P_{max}}{A} \\ &= \frac{477000}{17671.46} \\ &= 24,417 \text{ MPa} \end{aligned}$$



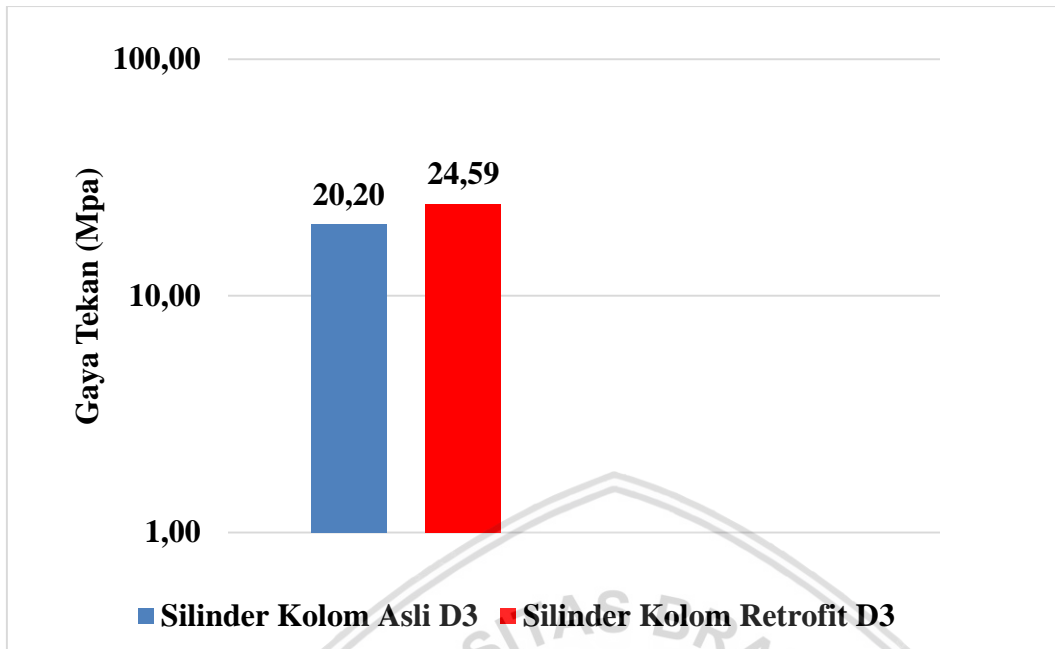
Gambar 4 3. Grafik perbandingan hasil uji tekan beton silinder kolom asli A dengan kolom retrofit A



Gambar 4.4. Grafik perbandingan hasil uji tekan beton uji silinder kolom asli B dengan kolom retrofit B



Gambar 4.5. Grafik perbandingan hasil uji tekan beton uji silinder kolom asli C dengan kolom retrofit C



Gambar 4.6. Grafik perbandingan hasil uji tekan beton uji silinder kolom asli D dengan kolom retrofit D

4.5 Proses Perawatan (*Curing*)

Proses perawatan atau *curing* pada benda uji silinder dan kolom dilakukan dengan diselimuti karung goni basah, yang mana setiap hari dibasahi terus menerus dengan air selama 28 hari. Proses perawatan ini bertujuan untuk menghindari rangkai dan susut pada benda uji. Kemudian dilakukan pengujian tekan pada benda uji silinder dan kolom.

4.6 Pembahasan

4.6.1 Kuat Beban Aksial Kolom Asli dan Kolom Retrofit

Benda uji kolom dibuat sebanyak 12 sampel kolom asli dan 12 sampel kolom retrofit. Kolom asli mempunyai dimensi (12 x 12 x 30) cm dan untuk kolom retrofit mempunyai dimensi (18 x 18 x 30) cm. Dengan melakukan pengujian tekan pada benda uji, maka akan diketahui gaya tekan kolom (P_n).

Rumus gaya tekan pada kolom asli :

$$P_{n(max)} = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$$

Rumus gaya tekan pada kolom retrofit :

$$P_{n(max)} = 50\%[0.85 f'_c (A_{gkolom\ asli} - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] + [0.85 f'_c (A_{gkolom\ retrofit} - A_{bambu}) + (A_{bambu} \cdot f_{tk_{bambu}})]$$

Dimana :

P_n = kuat beban aksial nominal pada eksentrisitas yang diberikan (kN)

A_g = luas penampang bruto beton (mm²)

f'_c = kuat tekan beton (MPa)

f_y = tegangan leleh dari tulangan longitudinal (MPa)

A_{bambu} = luas penampang bambu (mm²)

$f_{tk\ bambu}$ = kuat tekan bambu (MPa)

A_{st} = luas total tulangan longitudinal

Tabel 4.6 Tabel hasil perbandingan kuat beban aksial nominal teoritis dan ultimate aktual kolom asli

NO	Kode Benda Uji Kolom Asli	Kuat Tekan Beton (f'_c)	Kuat Beban Aksial Nominal Kolom (P_n) Secara Teoritis	Kuat Beban Aksial Ultimate Kolom (P_u) Secara Aktual
		(Mpa)	kN	kN
1	A3	17,66	227,5236	222,2667
2	B3	19,95	255,4872	225,2333
3	C3	19,58	250,9993	238,4667
4	D3	20,20	258,5943	245,2

Nilai kuat beban aksial ultimate kolom pada tabel 4.6 diatas, secara aktual didapatkan dari rata - rata data kuat beban aksial per sampel kolom asli dengan asumsi pembacaan defleksi per sampel kolom asli harus senilai.

Contoh perhitungan kekuatan nominal kolom asli ($P_n \text{ max}$) untuk kolom A.3 :

Dik :

$$f'_c = 17,66 \text{ MPa}$$

$$A_g = 120 \text{ mm} \times 120 \text{ mm} = 14400 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = \frac{1}{4} \times \pi \times (7,6 \text{ mm})^2 = 45,36 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 266,73 \text{ MPa}$$

Dit : $P_n \text{ (max) ?}$

Jawab :

$$P_{n(max)} = 0,85 f'_c (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}$$

$$P_{n(max)} = 0,85 \times 17,66 (14400 - 45,36) + 266,73 \times 45,36$$

$$P_{n(max)} = 227523,6036 \text{ N} = 227,5236 \text{ kN}$$

Tabel 4.7 Tabel hasil perbandingan kuat beban aksial nominal teoritis dan ultimate aktual kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom retrofit	Kuat Tekan Beton (f'_c)	Kuat Beban Aksial Nominal Kolom (P_n) Secara Teoritis	Kuat Beban Aksial Ultimate Kolom (P_u) Secara Aktual
		(Mpa)	kN	kN
1	A3	24,42	489,5932	291
2	B3	18,08	488,4745	361,2333
3	C3	18,22	412,0605	282,8667
4	D3	24,59	409,2963	317,7333

Nilai kuat beban aksial ultimate kolom aktual pada tabel 4.7, didapatkan dari rata-rata data kuat beban aksial per sampel kolom retrofit dengan asumsi pembacaan defleksi per sampel kolom retrofit harus senilai.

Contoh perhitungan kekuatan nominal kolom retrofit ($P_n \text{ max}$) (Kolom A.3) :

Dik :

$$f'_c \text{ kolom asli} = 17.66 \text{ MPa}$$

$$f'_c \text{ kolom retrofit} = 24.42 \text{ MPa}$$

$$A_g \text{ kolom asli} = 120 \text{ mm} \times 120 \text{ mm} = 14400 \text{ mm}^2$$

$$A_g \text{ kolom retrofit} = 180 \text{ mm} \times 180 \text{ mm} = 32400 \text{ mm}^2$$

$$A_{st} = \frac{1}{4} \times \pi \times (7.6 \text{ mm})^2 = 45.36 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{bambu}} = 10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm} = 100 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 266.73 \text{ MPa}$$

$$f_{tk} \text{ bambu} = 43.13 \text{ MPa}$$

Dit : $P_n \text{ (max) ?}$

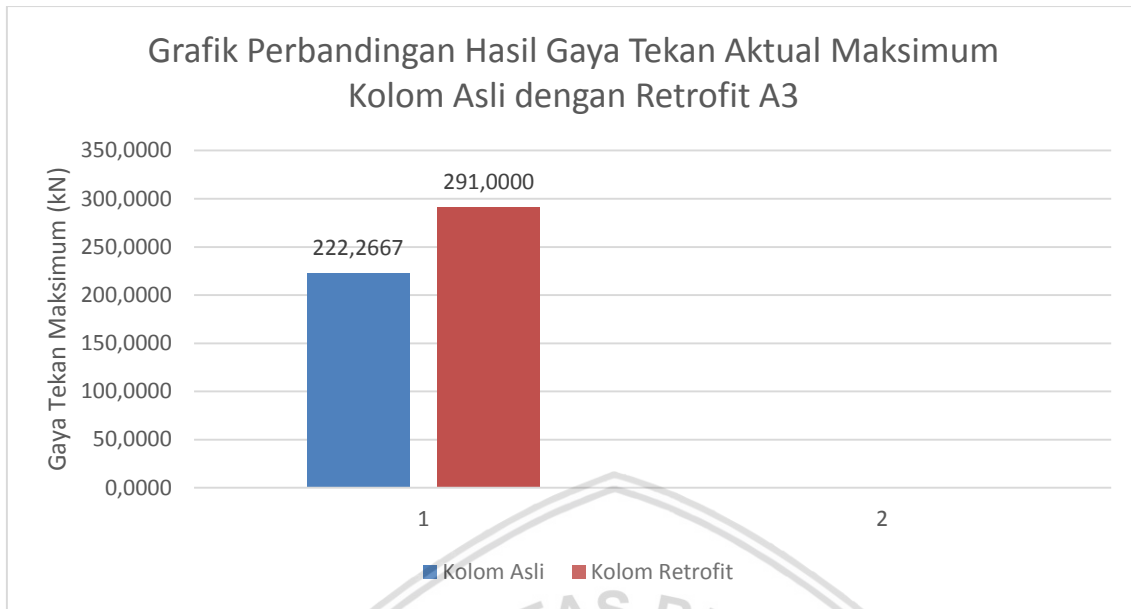
Jawab :

$$P_{n(max)} = 50\% [0.85 f'_c (A_{gkolom \text{ asli}} - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}] + [0.85 f'_c (A_{gkolom \text{ retrofit}} - A_{bambu}) + (A_{bambu} \cdot f_{tk_{bambu}})]$$

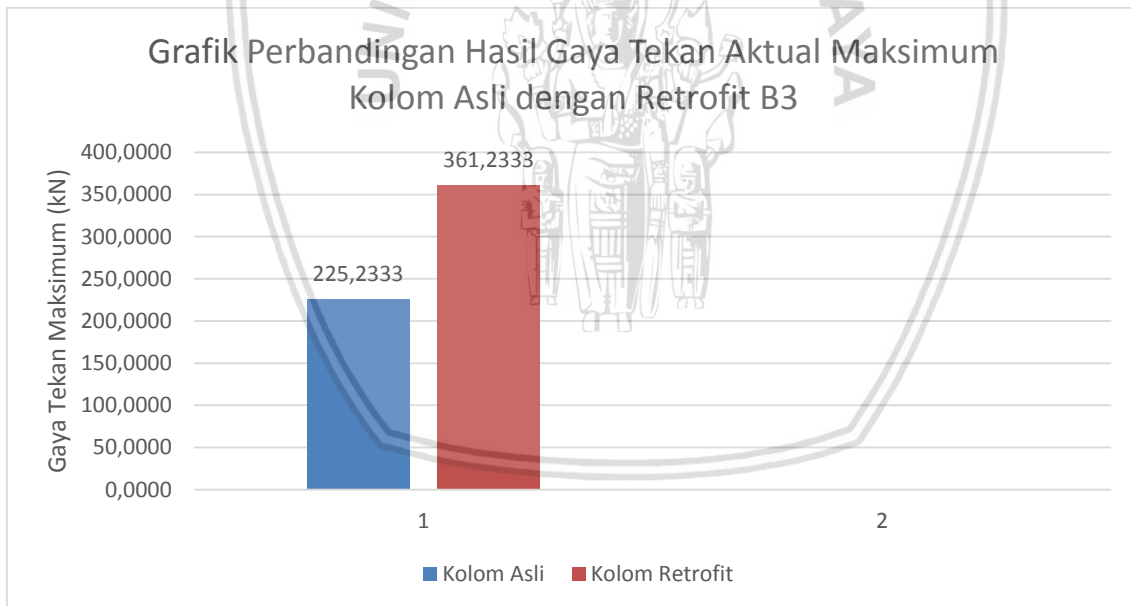
$$P_{n(max)} = 50\% [0.85 \times 17.66 (14400 - 45.36) + 266.73 \times 45.36] + [0.85 \times 24.42 ((32400 - 14400) - 100) + (100 \times 43.13)]$$

$$P_{n(max)} = 489593,2271 \text{ kN} = 489,5932 \text{ N}$$

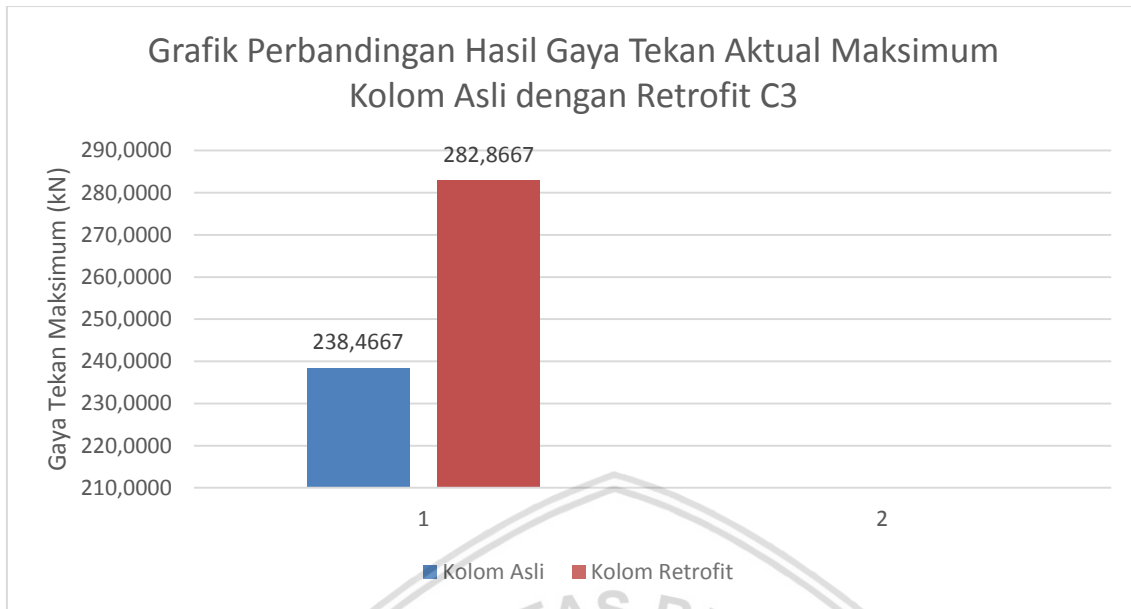
Pada penelitian ini, analisis kuat tekan kolom retrofit bertulangan bambu diambil 50% dari kuat tekan kolom asli. Nilai 50% bukan merupakan nilai mutlak yang harus menjadi pedoman pengambilan kuat tekan kolom, melainkan nilai 50% kondisional tergantung penelitian. Nilai 50% pada penelitian ini didapatkan dari hasil pengujian kuat tekan yang diberhentikan saat beban turun 50% dari beban puncak/maksimum.



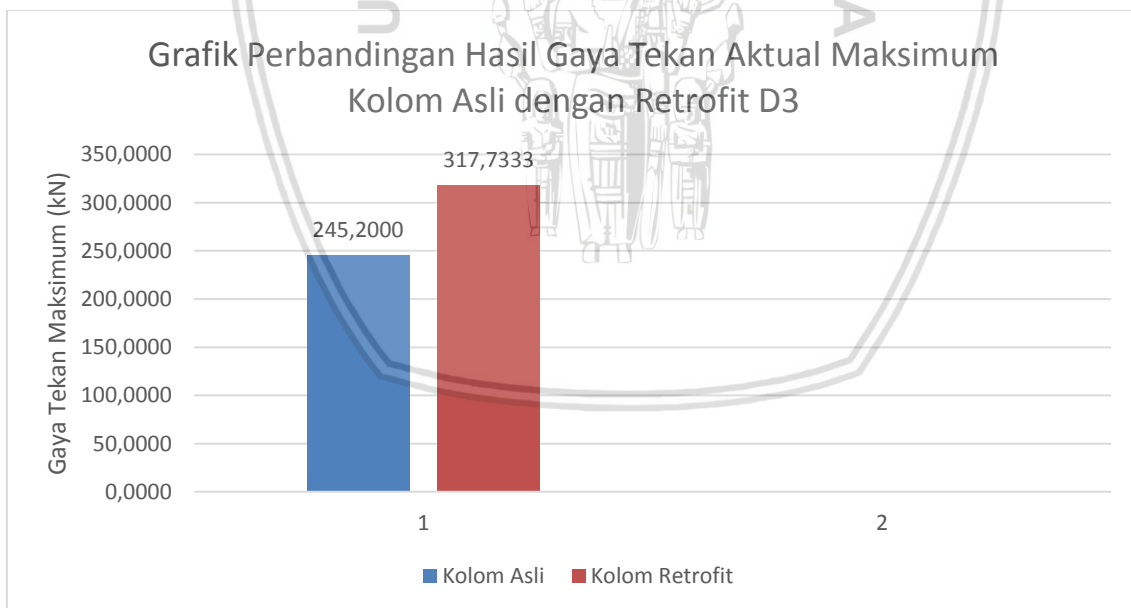
Gambar 4.7. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli A.3 dan kolom asli A.3



Gambar 4.8. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli dan kolom asli B3



Gambar 4.9. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli dan kolom asli C3



Gambar 4.10. Grafik perbandingan hasil gaya tekan aktual maksimum kolom asli dan kolom asli D3

Dari penelitian gaya tekan kolom yang telah dilakukan di atas dapat disimpulkan bahwa, hasil pengujian untuk gaya tekan aktual maksimum kolom asli dan kolom retrofit memiliki

nilai yang berbeda. Secara aktual hasil pengujian gaya tekan kolom asli dan kolom retrofit yaitu kolom asli A.3 memiliki gaya tekan maksimum sebesar 222,2667 kN, sedangkan kolom retrofit A.3 memiliki gaya tekan maksimum sebesar 291 kN. Kolom asli A.3 mengalami peningkatan sebesar 30,92 % dari kolom retrofit A.3. Kolom asli B.3 memiliki gaya tekan maksimum sebesar 225,2333 kN, sedangkan kolom retrofit B.3 memiliki gaya tekan maksimum sebesar 361,2333 kN. Kolom asli B.3 mengalami peningkatan sebesar 60,38 % dari kolom retrofit B.3. Kolom asli C.3 memiliki gaya tekan maksimum sebesar 238,4667 kN, sedangkan kolom retrofit C.3 memiliki gaya tekan maksimum sebesar 282,8667 kN. Kolom asli C.3 mengalami peningkatan sebesar 18,62 % dari kolom retrofit C.3. Kolom asli D.3 memiliki gaya tekan maksimum sebesar 245,2 kN, sedangkan kolom retrofit D.3 memiliki gaya tekan maksimum sebesar 317,7333 kN. Kolom asli D.3 mengalami peningkatan sebesar 29,58 % dari kolom retrofit D.3.

4.6.2 Grafik Kekakuan Kolom Asli dan Kolom Retrofit

Hasil dari gaya tekan dan defleksi akan didapatkan nilai kekakuan kolom. Nilai kekakuan suatu struktur sangat penting dan perlu diperhatikan. Kekakuan digunakan untuk pembatasan agar menjaga konstruksi tidak mengalami lendutan melebihi dari lendutan yang telah disyaratkan. Kekakuan merupakan gaya yang diperlukan untuk memperoleh satu unit *displacement*. Nilai kekakuan merupakan sudut kemiringan dari hubungan antara beban dan defleksi.

Nilai kekakuan didapatkan dari rumus :

$$k = \frac{P}{\Delta}$$

Dimana :

k = Kekakuan Struktur (kN/mm)

P = Gaya Tekan (kN)

Δ = Defleksi (mm)

Untuk mencari nilai modulus elastisitas kolom asli dan kolom retrofit memakai metode yang dilakukan oleh Park (1988) yaitu untuk nilai gaya tekan diambil 75 % dari nilai gaya

tekan maksimum dan nilai defleksi diambil dari nilai defleksi pada saat nilai gaya tekan yang didapat 75% dari gaya tekan maksimum.

Tabel 4.8 Tabel data kekakuan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)		75% Gaya Tekan Maksimum (kN)		Kekakuan (kN/mm)	
		Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit
1	A.3.1	238,7000	184,5000	179,0250	138,3750	883,4325	678,6785
2	A3	221,2000	391,9000	165,9000	293,9250	790,0000	1406,3397
3	A.3.3	215,0000	319,6000	161,2500	239,7000	777,8293	1102,9141
4	B.3.1	190,4000	198,7000	142,8000	149,0250	738,0000	735,9259
5	B3	247,3000	465,2000	185,4750	348,9000	965,5965	1721,5461
6	B.3.3	248,5000	477,3000	186,3750	357,9750	884,4915	1713,8241
7	C.3.1	255,8000	364,2000	191,8500	273,1500	917,0807	1259,3561
8	C3	246,8000	227,5000	185,1000	170,6250	888,8983	840,0000
9	C.3.3	227,5000	293,2000	170,6250	219,9000	816,9362	1084,7614
10	D.3.1	206,8000	284,8000	155,1000	213,6000	734,8032	977,8541
11	D3	249,3000	331,7000	187,3500	248,7750	888,5419	1147,5618
12	D.3.3	284,2000	339,1000	213,8250	254,3250	1049,4479	1158,4161

Tabel 4.9 Tabel data rata –rata kekakuan hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)		75% Gaya Tekan Maksimum (kN)		Kekakuan (kN/mm)	
		Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit
1	A3	222,3	291,0	166,70	218,25	838,67	1105,00
2	B3	225,2	361,2	168,93	270,93	856,33	1394,33
3	C3	238,5	282,9	178,85	212,15	830,88	1086,67
4	D3	245,2	317,7	183,90	238,30	757,40	945,73

Contoh perhitungan kekakuan kolom (k) (Kolom retrofit A.3) :

Dik :

$$P_{\max} = 222,2667$$

$$75\% P_{\max} = 75 \% \times 222,2667 = 166,6667 \text{ kN}$$

Dit : k ?

Jawab :

$$\Delta = 0,1 + \frac{(166,6667 - 83,8667)}{(167,7333 - 83,8667)} \times (0,2 - 0,1)$$

$$\Delta = 0,1988$$

$$k = \frac{P}{\Delta}$$

$$k = \frac{166,6667 \text{ kN}}{0,1988 \text{ mm}}$$

$$k = 838,6667 \text{ kN/mm}$$



4.6.2.1 Kolom Asli A.3 dengan Kolom Retrofit A.3

Tabel 4.10 Tabel data rata –rata hasil uji tekan kolom asli A.3

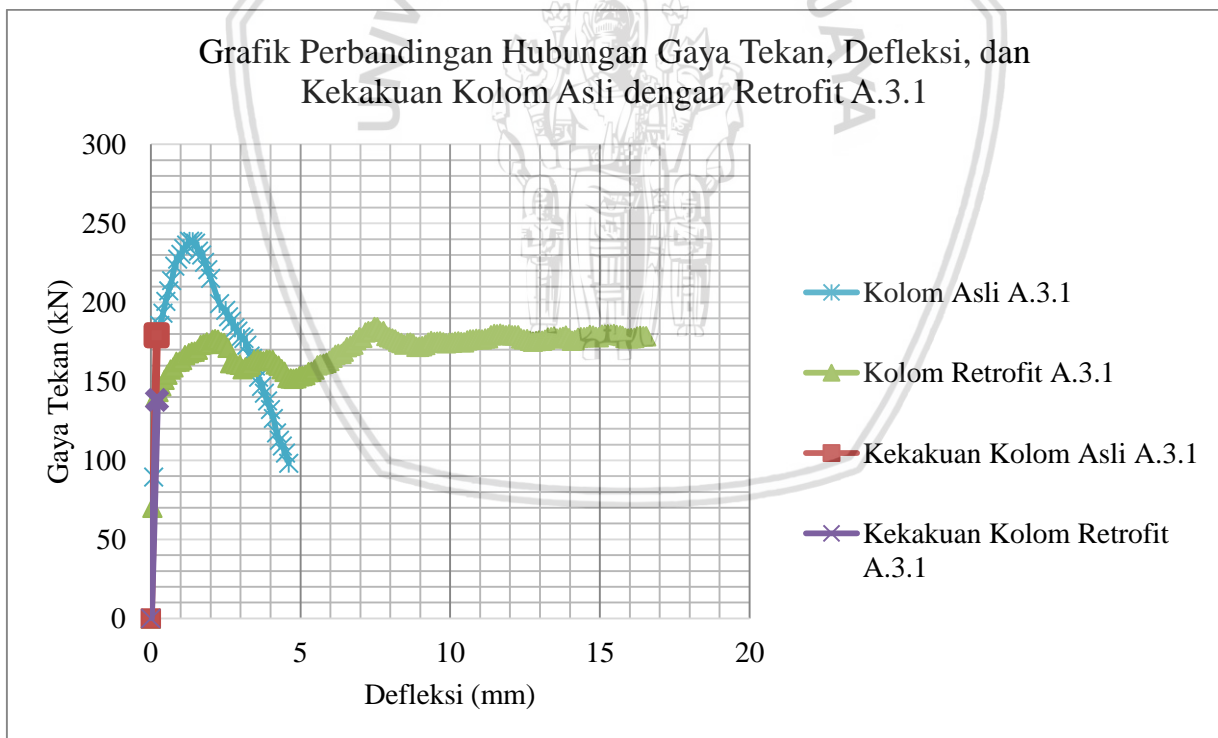
No	Defleksi (mm)	A.3.1	A.3.2	A.3.3	RATA - RATA
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
1	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	0,1	89,4000	82,0500	80,1500	83,8667
3	0,2	178,8000	164,1000	160,3000	167,7333
4	0,3	185,4000	174,2000	168,8000	176,1333
5	0,4	193,1000	182,4000	181,3000	185,6000
6	0,5	200,7000	193,2000	192,7000	195,5333
7	0,6	207,4000	201,7000	200,8000	203,3000
8	0,7	213,9000	211,0000	208,7000	211,2000
9	0,8	223,0000	216,8000	210,9000	216,9000
10	0,9	227,4000	217,8000	215,0000	220,0667
11	1	230,5000	221,2000	214,7000	222,1333
12	1,1	234,1000	219,1000	213,6000	222,2667
13	1,2	236,3000	219,0000	211,4000	222,2333
14	1,3	238,7000	216,0000	205,5000	220,0667
15	1,4	238,6000	209,4000	197,3000	215,1000
16	1,5	237,5000	205,9000	192,0000	211,8000
17	1,6	232,5000	197,4000	183,9000	204,6000
18	1,7	230,0000	193,5000	171,2000	198,2333
19	1,8	225,4000	188,0000	157,0000	190,1333
20	1,9	220,6000	184,0000	149,8000	184,8000
21	2	215,3000	177,8000	138,3000	177,1333
22	2,3	199,2000	157,1000	118,8000	158,3667
23	2,5	194,9000	144,4000	107,0000	148,7667
24	2,6	190,9000	138,0000	102,1000	143,6667
25	2,7	188,1000	133,8000	98,4000	140,1000

Tabel 4.11 Tabel data rata –rata hasil uji tekan kolom retrofit A.3

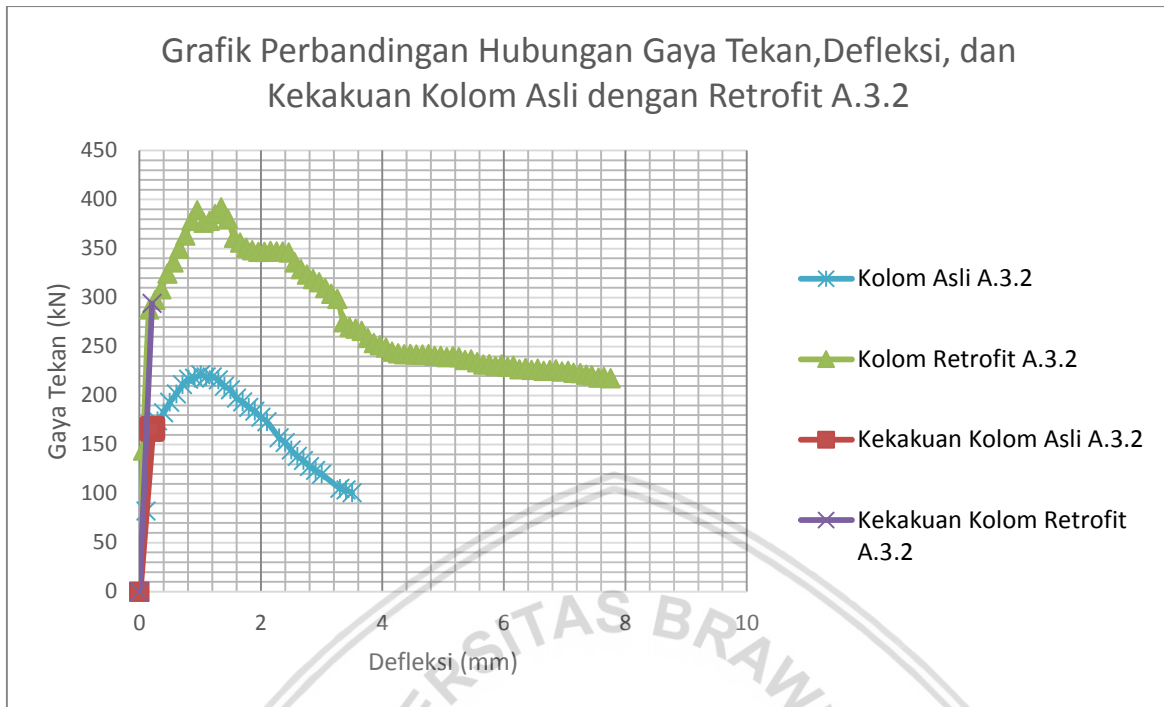
No	Defleksi (mm)	A.3.1	A.3.2	A.3.3	RATA - RATA
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
1	0,0	0	0	0	0
2	0,1	70,0500	143,9500	117,5000	110,5000
3	0,2	140,1000	287,9000	235,0000	221,0000
4	0,3	143,4000	297,6000	242,8000	227,9333
5	0,4	147,0000	308,4000	248,4000	234,6000
6	0,5	151,0000	324,4000	255,9000	243,7667
7	0,6	154,2000	335,8000	262,0000	250,6667
8	0,7	157,5000	349,8000	263,9000	257,0667
9	0,8	158,9000	363,4000	272,2000	264,8333
10	0,9	162,3000	378,3000	278,0000	272,8667
11	1,0	162,6000	389,0000	286,7000	279,4333
12	1,1	163,5000	376,4000	294,0000	277,9667
13	1,2	166,6000	378,3000	298,8000	281,2333
14	1,3	167,8000	385,1000	307,5000	286,8000
15	1,4	168,6000	391,9000	312,5000	291,0000
16	1,5	168,9000	380,1000	316,0000	288,3333
17	1,6	170,1000	360,9000	319,6000	283,5333
18	1,7	173,2000	356,0000	316,4000	281,8667
19	1,8	173,8000	351,0000	312,4000	279,0667
20	1,9	174,7000	348,3000	309,3000	277,4333
21	2,0	173,8000	346,5000	304,1000	274,8000
22	2,1	176,4000	346,7000	299,2000	274,1000
23	2,2	176,7000	347,7000	297,8000	274,0667
24	2,3	176,3000	347,0000	295,4000	272,9000
25	2,4	174,8000	347,1000	295,3000	272,4000
26	2,5	174,3000	346,0000	293,3000	271,2000
27	2,6	171,2000	335,8000	293,2000	266,7333
28	2,7	161,6000	329,1000	296,7000	262,4667
29	2,8	161,8000	323,5000	297,5000	260,9333
30	2,9	160,9000	318,9000	294,8000	258,2000
31	3,0	160,5000	315,5000	295,8000	257,2667
32	3,1	157,7000	309,6000	293,1000	253,4667
33	3,2	159,0000	303,7000	292,4000	251,7000
34	3,3	159,3000	298,6000	295,3000	251,0667
35	3,4	160,5000	274,9000	293,3000	242,9000

No	Defleksi (mm)	A.3.1	A.3.2	A.3.3	RATA - RATA
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
36	3,5	163,6000	269,9000	291,8000	241,7667
37	3,6	164,0000	268,4000	294,4000	242,2667
38	3,7	163,2000	266,1000	293,0000	240,7667
39	3,8	162,8000	258,9000	290,9000	237,5333
40	3,9	163,8000	253,7000	291,4000	236,3000
41	4,0	163,8000	251,3000	289,0000	234,7000
42	4,1	163,6000	248,9000	286,2000	232,9000
43	4,2	160,7000	244,9000	286,6000	230,7333
44	4,3	159,9000	243,0000	284,5000	229,1333
45	4,4	157,8000	242,0000	280,6000	226,8000
46	4,5	156,1000	242,4000	278,0000	225,5000
47	4,6	152,3000	241,7000	275,1000	223,0333
48	4,7	151,8000	241,7000	274,3000	222,6000
49	4,8	151,7000	242,0000	270,0000	221,2333
50	4,9	152,1000	240,5000	270,8000	221,1333
51	5,0	153,2000	240,5000	266,5000	220,0667
52	5,1	153,5000	239,1000	264,6000	219,0667
53	5,2	154,0000	240,1000	263,6000	219,2333
54	5,3	155,8000	239,2000	262,3000	219,1000
55	5,4	156,0000	236,4000	261,8000	218,0667
56	5,5	157,5000	236,9000	262,2000	218,8667
57	5,6	160,1000	233,9000	259,8000	217,9333
58	5,7	160,8000	231,6000	258,0000	216,8000
59	5,8	161,1000	232,2000	259,0000	217,4333
60	5,9	161,8000	230,0000	258,7000	216,8333
61	6,0	162,9000	231,7000	257,8000	217,4667
62	6,1	164,9000	229,5000	260,0000	218,1333
63	6,2	166,8000	230,3000	258,6000	218,5667
64	6,3	167,5000	226,8000	258,9000	217,7333
65	6,4	167,5000	228,0000	257,2000	217,5667
66	6,5	168,8000	226,3000	260,0000	218,3667
67	6,6	171,6000	227,6000	261,2000	220,1333
68	6,7	172,5000	225,1000	260,9000	219,5000
69	6,8	173,3000	226,1000	263,8000	221,0667
70	6,9	176,2000	226,8000	262,9000	221,9667

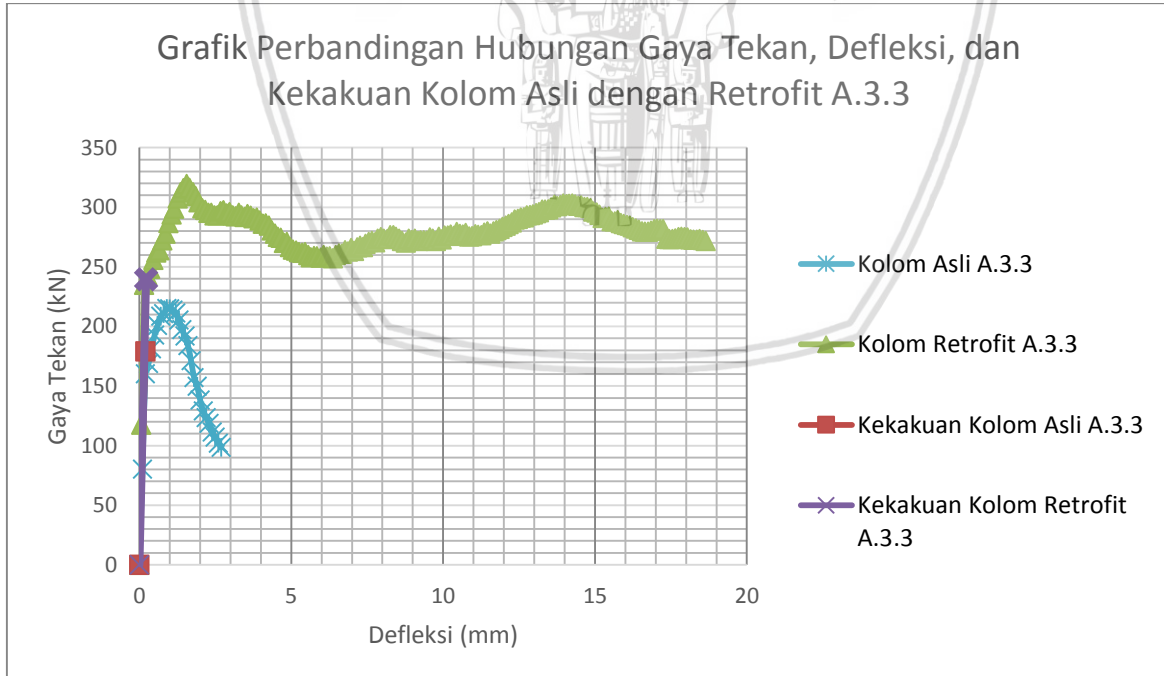
No	Defleksi (mm)	A.3.1	A.3.2	A.3.3	RATA - RATA
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
71	7,0	177,9000	224,4000	265,7000	222,6667
72	7,1	177,6000	225,2000	263,4000	222,0667
73	7,2	181,0000	223,1000	266,3000	223,4667
74	7,3	181,9000	223,0000	267,7000	224,2000
75	7,4	181,6000	221,2000	266,5000	223,1000
76	7,5	184,5000	220,7000	269,2000	224,8000
77	7,6	184,2000	218,4000	270,8000	224,4667
78	7,7	181,6000	219,0000	271,8000	224,1333
79	7,8	181,8000	217,7000	270,7000	223,4000



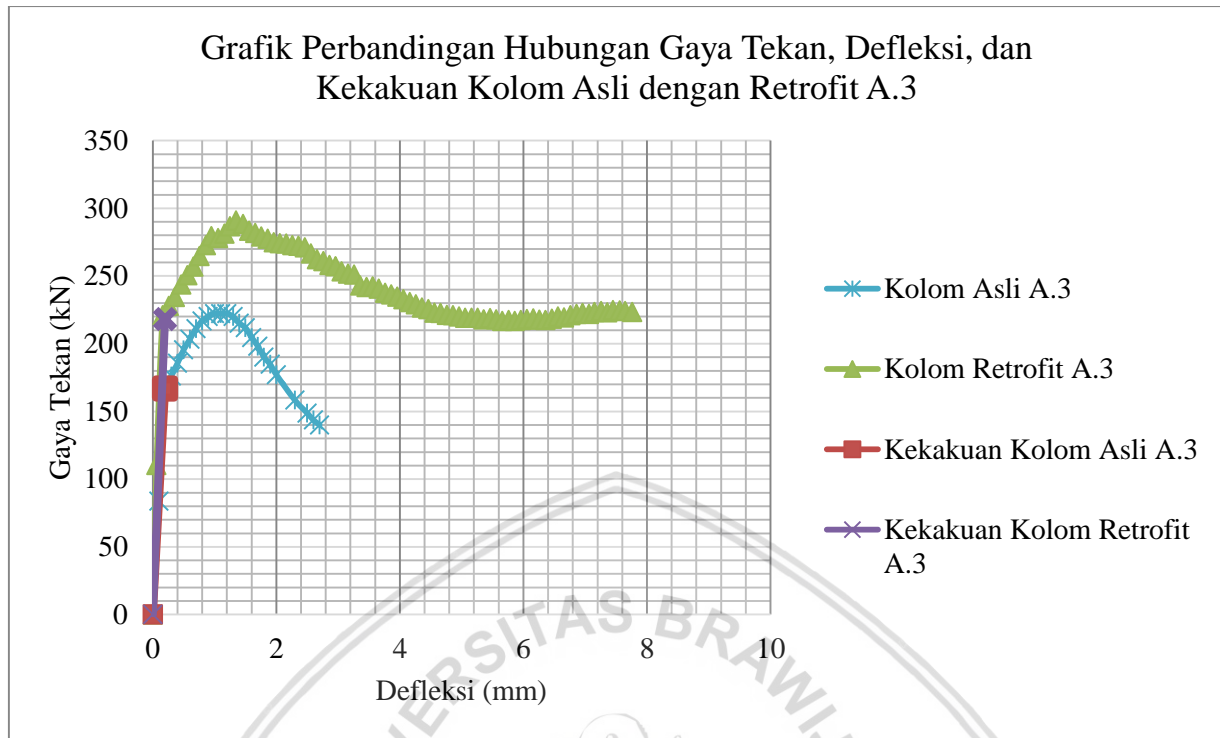
Gambar 4.11 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.3.1 dengan kolom retrofit A.3.1



Gambar 4.12 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.3.2 dengan kolom retrofit A.3.2



Gambar 4.13 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.3.3 dengan kolom retrofit A.3.3



Gambar 4.14 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli A.3 dengan kolom retrofit A.3

Hasil analisis data gaya tekan dan defleksi pada kolom A.3 memiliki nilai kekakuan pada kolom asli A.3 sebesar 838,67 kN/mm dan kolom retrofit A.3 memiliki nilai kekakuan sebesar 1105 kN/mm. Maka terjadi peningkatan kekakuan pada kolom retrofit A.3 sebesar 31,76 % dari nilai kekakuan kolom asli A.3.

4.6.2.2 Kolom Asli B.3 dengan Kolom Retrofit B.3

Tabel 4.12 Tabel data rata –rata hasil uji tekan kolom asli B.3

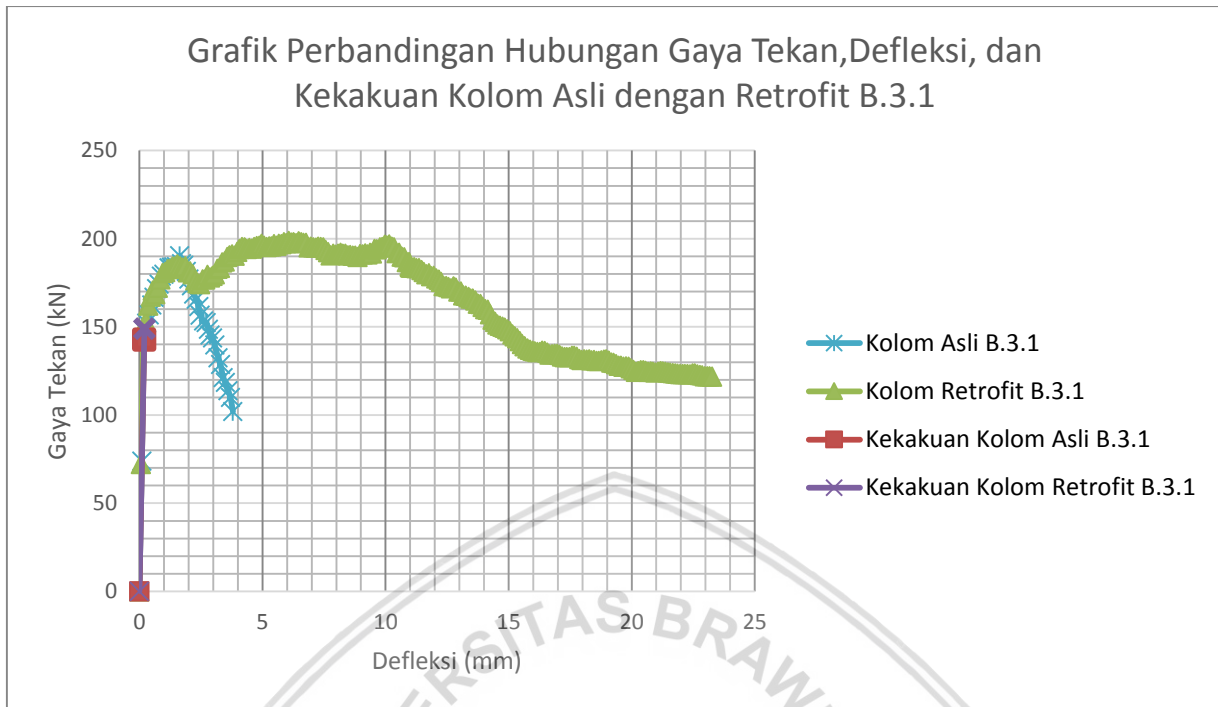
No	Defleksi (mm)	B.3.1	B.3.2	B.3.3	RATA - RATA
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
1	0,0	0	0	0	0
2	0,1	73,8000	93,4500	89,6500	85,6333
3	0,2	147,6000	186,9000	179,3000	171,2667
4	0,3	152,0000	197,6000	191,9000	180,5000
5	0,4	156,7000	213,4000	206,4000	192,1667
6	0,5	162,5000	219,8000	219,2000	200,5000
7	0,6	166,8000	231,7000	222,2000	206,9000
8	0,7	171,6000	232,5000	232,3000	212,1333
9	0,8	174,2000	240,0000	239,8000	218,0000
10	0,9	178,8000	246,8000	247,9000	224,5000
11	1,0	179,9000	247,3000	248,5000	225,2333
12	1,2	183,5000	236,0000	242,4000	220,6333
13	1,3	183,8000	229,1000	239,7000	217,5333
14	1,4	184,0000	219,7000	234,2000	212,6333
15	1,5	184,1000	210,9000	227,6000	207,5333
16	1,6	190,4000	197,8000	218,0000	202,0667
17	1,7	185,9000	187,5000	208,4000	193,9333
18	1,8	185,0000	172,9000	203,5000	187,1333
19	1,9	181,5000	164,0000	195,9000	180,4667
20	2,0	177,2000	156,9000	189,0000	174,3667
21	2,1	173,3000	151,2000	182,4000	168,9667
22	2,2	168,6000	146,1000	177,1000	163,9333
23	2,3	165,6000	140,8000	171,5000	159,3000
24	2,4	161,5000	137,3000	166,6000	155,1333
25	2,5	156,6000	133,5000	161,8000	150,6333
26	2,6	153,3000	126,7000	154,5000	144,8333
27	2,7	152,5000	123,0000	148,4000	141,3000
28	2,8	148,6000	119,3000	143,8000	137,2333
29	2,9	145,3000	115,0000	141,2000	133,8333
30	3,0	143,8000	111,0000	136,9000	130,5667
31	3,1	139,8000	107,5000	133,9000	127,0667
32	3,2	132,4000	106,4000	129,8000	122,8667
33	3,3	128,6000	102,2000	125,9000	118,9000

Tabel 4.13 Tabel data rata –rata hasil uji tekan kolom retrofit B.3

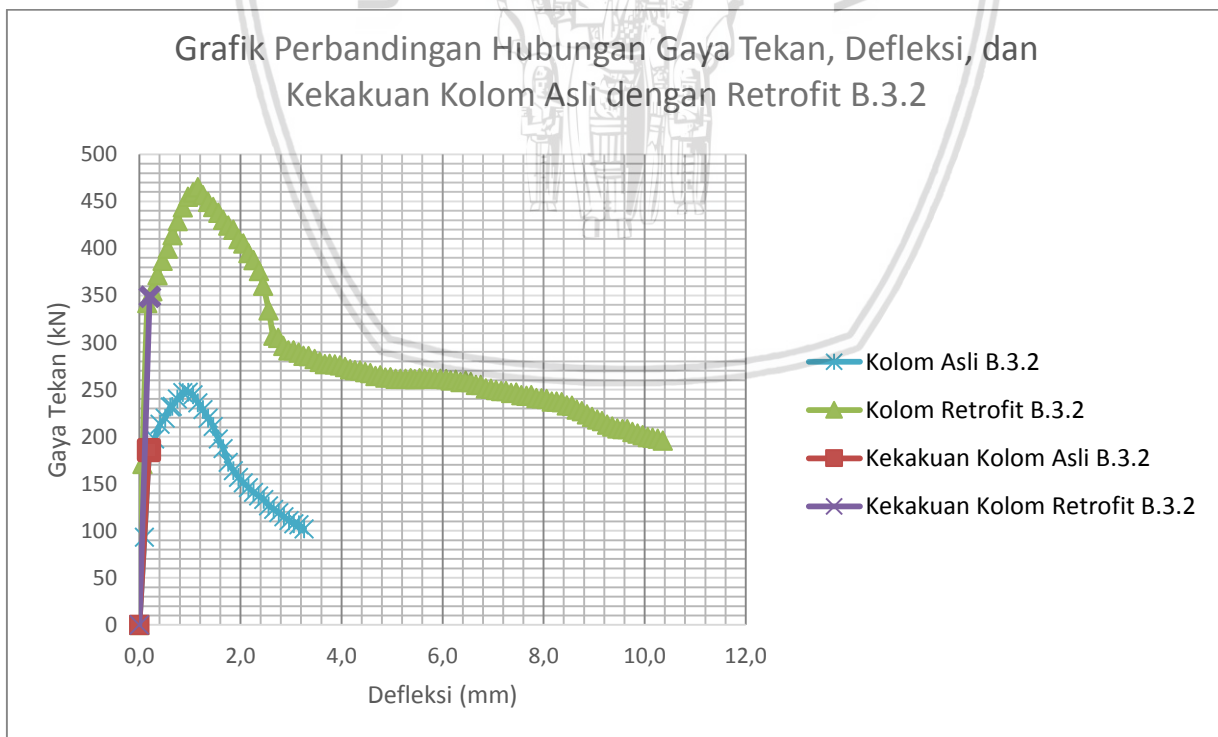
No	Defleksi (mm)	B.3.1	B.3.2	B.3.3	RATA - RATA
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
1	0,0	0	0	0	0
2	0,1	72,1500	171,0000	175,1500	139,4333
3	0,2	144,3000	342,0000	350,3000	278,8667
4	0,3	152,9000	354,9000	365,7000	291,1667
5	0,4	162,1000	371,9000	369,3000	301,1000
6	0,5	167,2000	387,0000	375,4000	309,8667
7	0,6	170,5000	399,9000	385,4000	318,6000
8	0,7	168,5000	414,4000	392,6000	325,1667
9	0,8	172,3000	429,3000	398,8000	333,4667
10	0,9	177,0000	443,7000	404,9000	341,8667
11	1,0	180,6000	455,0000	413,4000	349,6667
12	1,1	181,1000	459,8000	419,1000	353,3333
13	1,2	182,7000	465,2000	423,9000	357,2667
14	1,3	182,9000	456,6000	431,7000	357,0667
15	1,4	184,2000	449,6000	440,0000	357,9333
16	1,5	184,4000	444,1000	451,7000	360,0667
17	1,6	185,4000	438,0000	460,3000	361,2333
18	1,7	184,4000	430,7000	466,0000	360,3667
19	1,8	183,7000	424,6000	473,4000	360,5667
20	1,9	184,4000	420,1000	477,3000	360,6000
21	2,0	180,9000	410,3000	470,7000	353,9667
22	2,1	181,5000	405,4000	447,1000	344,6667
23	2,2	179,8000	395,2000	449,1000	341,3667
24	2,3	176,3000	387,8000	449,6000	337,9000
25	2,4	174,8000	376,0000	443,0000	331,2667
26	2,5	174,2000	360,6000	437,8000	324,2000
27	2,6	176,9000	334,2000	429,2000	313,4333
28	2,7	176,9000	307,6000	424,4000	302,9667
29	2,8	179,4000	305,2000	419,9000	301,5000
30	2,9	178,0000	296,6000	410,2000	294,9333
31	3,0	178,9000	291,9000	401,4000	290,7333
32	3,1	179,8000	291,7000	394,2000	288,5667
33	3,2	182,9000	289,4000	390,9000	287,7333
34	3,3	183,4000	286,1000	389,4000	286,3000
35	3,4	186,5000	285,7000	389,3000	287,1667

No	Defleksi (mm)	B.3.1	B.3.2	B.3.3	RATA - RATA
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
36	3,5	187,0000	282,6000	383,6000	284,4000
37	3,6	189,6000	279,5000	382,3000	283,8000
38	3,7	190,5000	277,1000	375,1000	280,9000
39	3,8	191,0000	277,6000	374,6000	281,0667
40	3,9	190,4000	276,8000	370,1000	279,1000
41	4,0	192,5000	275,8000	368,6000	278,9667
42	4,1	194,2000	274,3000	365,3000	277,9333
43	4,2	195,2000	271,7000	362,0000	276,3000
44	4,3	195,1000	270,9000	358,5000	274,8333
45	4,4	194,2000	270,5000	352,9000	272,5333
46	4,5	194,7000	268,7000	350,2000	271,2000
47	4,6	194,3000	267,7000	344,4000	268,8000
48	4,7	195,2000	264,8000	335,3000	265,1000
49	4,8	195,8000	265,3000	331,7000	264,2667
50	4,9	195,9000	263,0000	283,1000	247,3333
51	5,0	197,1000	263,4000	276,5000	245,6667
52	5,1	196,0000	261,7000	272,7000	243,4667
53	5,2	195,3000	261,7000	268,7000	241,9000
54	5,3	195,7000	261,7000	265,7000	241,0333
55	5,4	195,6000	262,2000	262,5000	240,1000
56	5,5	196,8000	261,4000	259,0000	239,0667
57	5,6	195,9000	262,4000	258,1000	238,8000
58	5,7	197,0000	261,8000	254,6000	237,8000
59	5,8	196,8000	262,4000	251,5000	236,9000
60	5,9	198,0000	261,6000	247,8000	235,8000
61	6,0	197,5000	261,7000	243,9000	234,3667
62	6,1	198,7000	261,4000	239,4000	233,1667
63	6,2	197,8000	259,9000	234,7000	230,8000
64	6,3	198,0000	260,6000	230,0000	229,5333
65	6,4	197,4000	258,3000	220,3000	225,3333
66	6,5	198,5000	259,6000	215,3000	224,4667
67	6,6	198,0000	258,1000	209,6000	221,9000
68	6,7	197,6000	255,2000	203,4000	218,7333
69	6,8	197,7000	255,0000	198,6000	217,1000
70	6,9	195,0000	251,5000	193,2000	213,2333

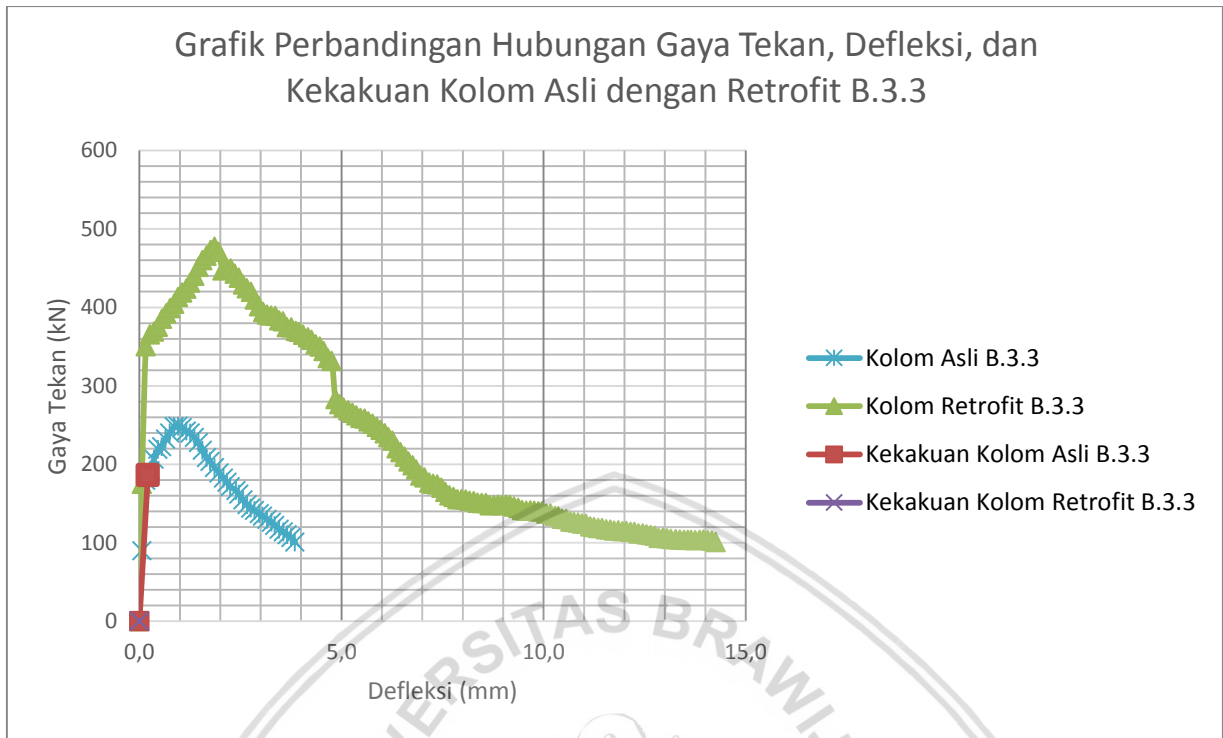
No	Defleksi (mm)	B.3.1	B.3.2	B.3.3	RATA - RATA
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
71	7,0	195,5000	251,1000	185,7000	210,7667
72	7,1	195,0000	249,8000	183,2000	209,3333
73	7,2	194,9000	248,8000	176,7000	206,8000
74	7,3	195,5000	248,8000	175,1000	206,4667
75	7,4	195,3000	246,5000	174,0000	205,2667
76	7,5	195,1000	246,9000	170,0000	204,0000
77	7,6	193,7000	244,2000	164,6000	200,8333
78	7,7	192,3000	243,6000	160,2000	198,7000
79	7,8	190,6000	244,1000	158,3000	197,6667
80	7,86	191,5000	241,2000	155,4000	196,0333
81	7,96	190,9000	240,9000	155,3000	195,7000
82	8,06	191,5000	240,3000	155,0000	195,6000
83	8,16	192,0000	237,5000	153,3000	194,2667
84	8,26	191,4000	237,5000	153,0000	193,9667
85	8,36	191,5000	236,7000	151,0000	193,0667
86	8,46	190,5000	233,3000	150,4000	191,4000
87	8,56	190,7000	233,0000	150,7000	191,4667
88	8,66	190,4000	229,0000	147,7000	189,0333
89	8,76	190,4000	227,2000	148,0000	188,5333
90	8,86	189,7000	223,7000	148,4000	187,2667
91	8,96	191,3000	221,0000	147,6000	186,6333
92	9,06	191,0000	218,3000	148,4000	185,9000
93	9,16	191,6000	216,8000	148,0000	185,4667
94	9,26	191,0000	213,1000	146,0000	183,3667
95	9,36	192,0000	210,8000	144,2000	182,3333
96	9,46	191,6000	209,0000	141,6000	180,7333
97	9,56	194,2000	208,3000	140,8000	181,1000
98	9,66	194,0000	208,1000	141,1000	181,0667
99	9,76	195,1000	205,2000	140,8000	180,3667
100	9,86	195,2000	203,5000	139,7000	179,4667
101	9,96	196,6000	201,7000	139,7000	179,3333
102	10,06	196,1000	199,8000	136,9000	177,6000
103	10,16	196,7000	199,0000	136,9000	177,5333
104	10,26	195,4000	197,9000	134,0000	175,7667
105	10,36	195,1000	196,0000	133,9000	175,0000



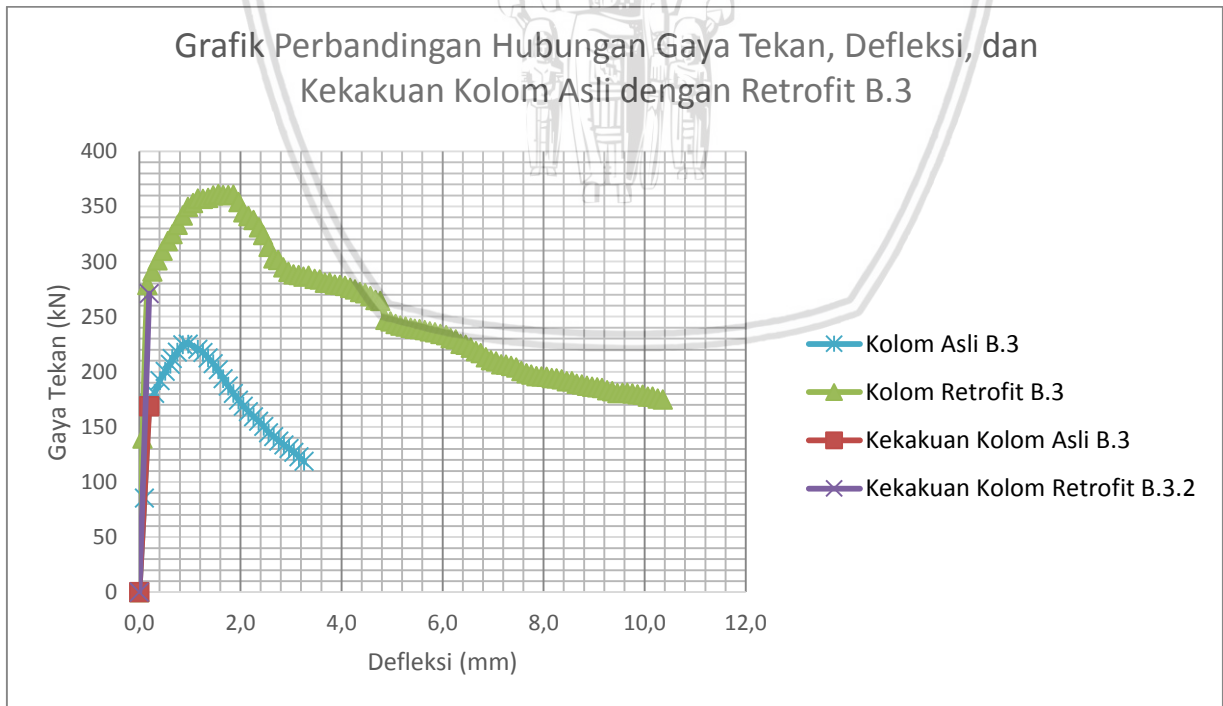
Gambar 4.15 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.3.1 dengan kolom retrofit B.3.1



Gambar 4.16 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.3.2 dengan kolom retrofit B.3.2



Gambar 4.17 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.3.3 dengan kolom retrofit B.3.3



Gambar 4.18 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli B.3 dengan kolom retrofit B.3

Hasil analisis data gaya tekan dan defleksi pada kolom B.3 memiliki nilai kekakuan pada kolom asli B.3 sebesar 856,33 kN/mm dan pada kolom retrofit B.3 memiliki nilai kekakuan sebesar 1394,33 kN/mm. Maka terjadi peningkatan kekakuan pada kolom retrofit B.3 sebesar 62,83 % dari nilai kekakuan kolom asli B.3.



4.6.2.3 Kolom Asli C.3 dengan Kolom Retrofit C.3

Tabel 4.14 Tabel data rata –rata hasil uji tekan kolom asli C.3

No	Defleksi (mm)	C.3.1	C.3.2	C.3.3	RATA - RATA
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
1	0,0	0	0	0	0
2	0,1	92,1000	90,4000	82,0000	88,1667
3	0,2	184,2000	180,8000	164,0000	176,3333
4	0,3	208,9000	194,1000	175,5000	192,8333
5	0,4	216,0000	205,1000	185,1000	202,0667
6	0,5	238,4000	218,5000	195,1000	217,3333
7	0,6	250,2000	227,3000	201,9000	226,4667
8	0,7	255,8000	234,4000	209,3000	233,1667
9	0,8	255,8000	242,7000	214,4000	237,6333
10	0,9	250,6000	245,9000	218,9000	238,4667
11	1,0	239,9000	246,8000	221,9000	236,2000
12	1,1	224,9000	246,4000	223,7000	231,6667
13	1,2	222,6000	246,1000	224,8000	231,1667
14	1,3	212,0000	241,2000	226,1000	226,4333
15	1,4	207,5000	235,8000	227,5000	223,6000
16	1,5	203,0000	234,7000	226,2000	221,3000
17	1,6	199,5000	226,2000	219,8000	215,1667
18	1,7	194,1000	220,3000	214,6000	209,6667
19	1,8	187,7000	212,0000	206,9000	202,2000
20	1,9	175,8000	205,7000	200,2000	193,9000
21	2,0	171,2000	196,3000	199,6000	189,0333
22	2,1	166,9000	187,8000	188,1000	180,9333
23	2,3	155,4000	174,6000	164,1000	164,7000
24	2,4	148,4000	166,6000	158,5000	157,8333
25	2,5	141,1000	160,2000	148,4000	149,9000
26	2,6	135,4000	153,5000	145,0000	144,6333
27	2,7	126,9000	148,8000	144,2000	139,9667
28	2,8	124,9000	142,2000	141,5000	136,2000
29	2,9	116,0000	136,2000	140,0000	130,7333
30	3,0	114,0000	130,4000	138,9000	127,7667
31	3,1	108,9000	126,6000	135,0000	123,5000
32	3,2	108,0000	125,2000	129,4000	120,8667
33	3,3	102,7000	119,6000	126,8000	116,3667

Tabel 4.15 Tabel data rata –rata hasil uji tekan kolom retrofit C.3

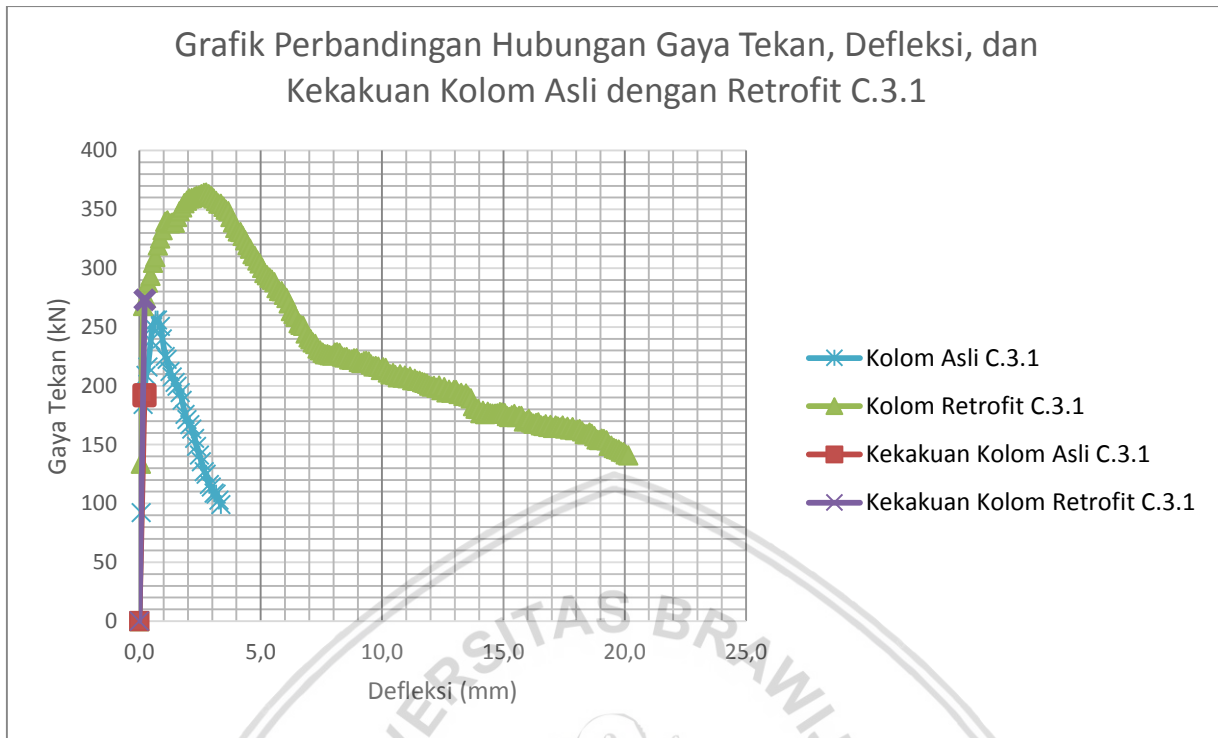
No	Defleksi (mm)	C.3.1	C.3.2	C.3.3	RATA - RATA
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
1	0,0	0	0	0	0
2	0,1	133,9000	84,0500	108,0500	108,6667
3	0,2	267,8000	168,1000	216,1000	217,3333
4	0,3	275,1000	174,4000	228,5000	226,0000
5	0,4	287,7000	181,1000	236,6000	235,1333
6	0,5	293,6000	183,2000	245,8000	240,8667
7	0,6	304,5000	186,5000	250,2000	247,0667
8	0,7	309,5000	188,9000	258,7000	252,3667
9	0,8	319,4000	189,9000	264,7000	258,0000
10	0,9	325,2000	192,1000	272,9000	263,4000
11	1,0	332,4000	193,8000	278,2000	268,1333
12	1,1	339,4000	196,5000	283,1000	273,0000
13	1,2	340,4000	197,5000	288,5000	275,4667
14	1,3	338,0000	197,1000	288,7000	274,6000
15	1,4	338,6000	202,2000	290,9000	277,2333
16	1,5	338,7000	204,3000	291,5000	278,1667
17	1,6	343,4000	205,8000	293,2000	280,8000
18	1,7	348,5000	210,6000	289,5000	282,8667
19	1,8	351,6000	212,5000	263,4000	275,8333
20	1,9	355,1000	214,6000	258,8000	276,1667
21	2,0	357,4000	220,9000	254,9000	277,7333
22	2,1	359,2000	221,0000	254,1000	278,1000
23	2,2	359,6000	224,4000	253,6000	279,2000
24	2,3	360,5000	224,3000	252,0000	278,9333
25	2,4	361,6000	225,0000	252,3000	279,6333
26	2,5	361,8000	227,5000	254,8000	281,3667
27	2,6	362,7000	220,6000	256,3000	279,8667
28	2,7	363,8000	219,9000	256,0000	279,9000
29	2,8	364,2000	221,8000	252,9000	279,6333
30	2,9	362,7000	219,7000	257,4000	279,9333
31	3,0	361,3000	219,6000	260,8000	280,5667
32	3,1	359,2000	222,2000	260,8000	280,7333
33	3,2	357,2000	222,6000	266,5000	282,1000
34	3,3	355,0000	220,0000	269,1000	281,3667
35	3,4	354,8000	219,6000	273,1000	282,5000

No	Defleksi (mm)	C.3.1	C.3.2	C.3.3	RATA - RATA
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
36	3,5	352,1000	222,3000	275,9000	283,4333
37	3,6	349,9000	223,9000	278,9000	284,2333
38	3,7	348,5000	224,6000	280,7000	284,6000
39	3,8	343,5000	224,0000	281,9000	283,1333
40	3,9	339,0000	223,1000	283,5000	281,8667
41	4,0	334,2000	223,8000	282,3000	280,1000
42	4,1	331,2000	223,0000	279,2000	277,8000
43	4,2	330,7000	222,6000	268,1000	273,8000
44	4,3	327,6000	221,1000	265,1000	271,2667
45	4,4	323,6000	219,6000	261,6000	268,2667
46	4,5	319,6000	215,6000	261,3000	265,5000
47	4,6	316,7000	214,5000	257,8000	263,0000
48	4,7	311,9000	213,8000	255,9000	260,5333
49	4,8	310,3000	212,2000	258,2000	260,2333
50	4,9	306,4000	211,6000	256,7000	258,2333
51	5,0	304,1000	207,6000	257,6000	256,4333
52	5,1	300,2000	207,0000	259,5000	255,5667
53	5,2	295,8000	204,3000	260,1000	253,4000
54	5,3	294,0000	202,7000	261,4000	252,7000
55	5,4	291,9000	201,8000	259,3000	251,0000
56	5,5	290,2000	201,9000	262,9000	251,6667
57	5,6	287,9000	201,0000	263,1000	250,6667
58	5,7	283,2000	199,9000	261,3000	248,1333
59	5,8	280,8000	200,0000	263,9000	248,2333
60	5,9	280,5000	198,7000	260,3000	246,5000
61	6,0	277,5000	198,6000	258,8000	244,9667
62	6,1	274,8000	195,1000	259,0000	242,9667
63	6,2	270,2000	193,2000	260,1000	241,1667
64	6,3	263,6000	192,1000	256,9000	237,5333
65	6,4	261,2000	188,8000	253,7000	234,5667
66	6,5	258,7000	186,4000	251,6000	232,2333
67	6,6	253,1000	182,3000	248,0000	227,8000
68	6,7	251,9000	170,5000	247,3000	223,2333
69	6,8	250,9000	159,4000	242,3000	217,5333
70	6,9	244,4000	150,7000	240,1000	211,7333

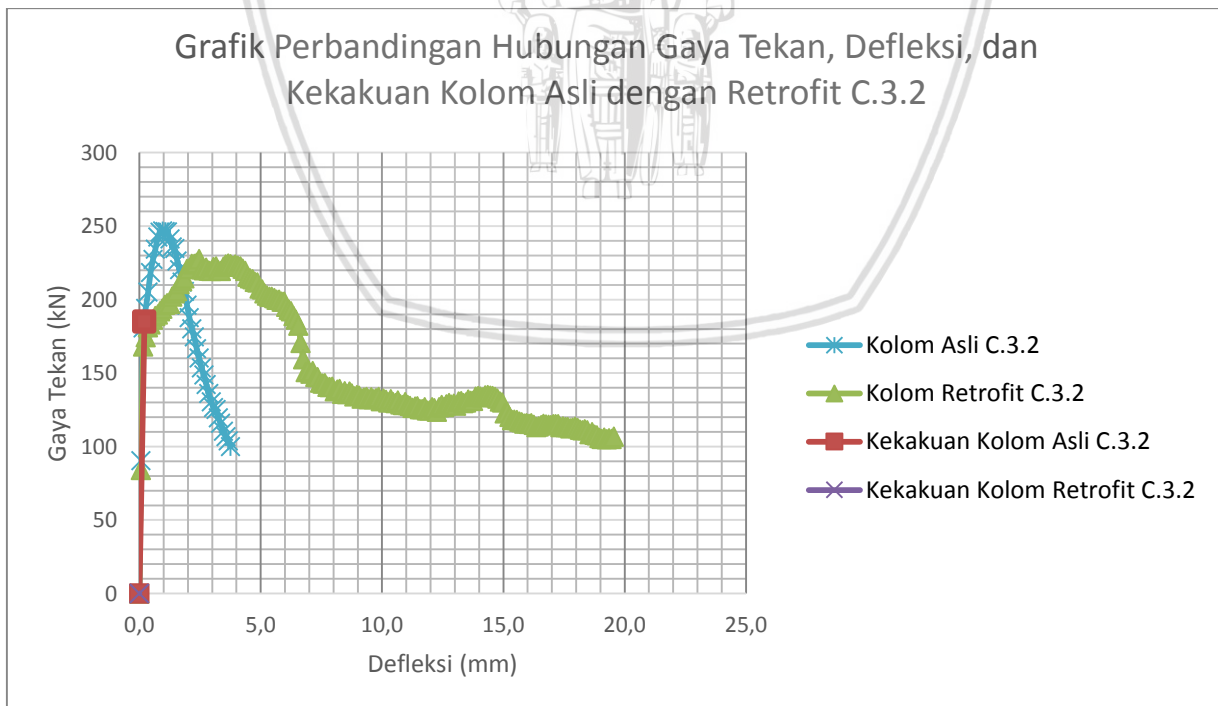
No	Defleksi (mm)	C.3.1	C.3.2	C.3.3	RATA - RATA
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
71	7,0	241,3000	151,5000	235,4000	209,4000
72	7,1	239,5000	149,7000	234,8000	208,0000
73	7,2	236,9000	151,4000	231,1000	206,4667
74	7,3	235,4000	147,5000	227,4000	203,4333
75	7,4	231,8000	147,2000	223,8000	200,9333
76	7,5	230,1000	143,6000	219,4000	197,7000
77	7,6	228,1000	142,8000	219,7000	196,8667
78	7,7	226,9000	143,2000	215,5000	195,2000
79	7,8	226,8000	140,8000	212,3000	193,3000
80	7,87	226,1000	140,5000	212,4000	193,0000
81	7,97	225,6000	140,6000	208,2000	191,4667
82	8,07	228,2000	137,7000	206,1000	190,6667
83	8,17	228,4000	138,8000	206,0000	191,0667
84	8,27	228,0000	139,1000	203,2000	190,1000
85	8,37	224,8000	136,0000	203,0000	187,9333
86	8,47	224,2000	137,6000	200,6000	187,4667
87	8,57	224,3000	135,6000	199,5000	186,4667
88	8,67	222,6000	137,4000	200,6000	186,8667
89	8,76	222,2000	136,2000	197,2000	185,2000
90	8,86	223,2000	134,2000	195,8000	184,4000
91	8,96	223,2000	135,1000	196,3000	184,8667
92	9,06	220,4000	134,7000	192,9000	182,6667
93	9,16	219,4000	132,6000	192,4000	181,4667
94	9,26	220,9000	133,4000	191,9000	182,0667
95	9,36	221,0000	133,8000	187,3000	180,7000
96	9,46	220,7000	132,1000	184,8000	179,2000
97	9,56	218,0000	133,6000	182,0000	177,8667
98	9,66	216,6000	132,2000	180,9000	176,5667
99	9,76	216,8000	132,8000	179,9000	176,5000
100	9,86	216,3000	133,7000	176,2000	175,4000
101	9,96	213,5000	131,0000	175,2000	173,2333
102	10,06	215,6000	132,6000	173,5000	173,9000
103	10,16	215,1000	131,8000	172,8000	173,2333
104	10,26	211,3000	130,1000	171,7000	171,0333
105	10,36	209,8000	132,2000	171,2000	171,0667

No	Defleksi (mm)	C.3.1	C.3.2	C.3.3	RATA - RATA
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN

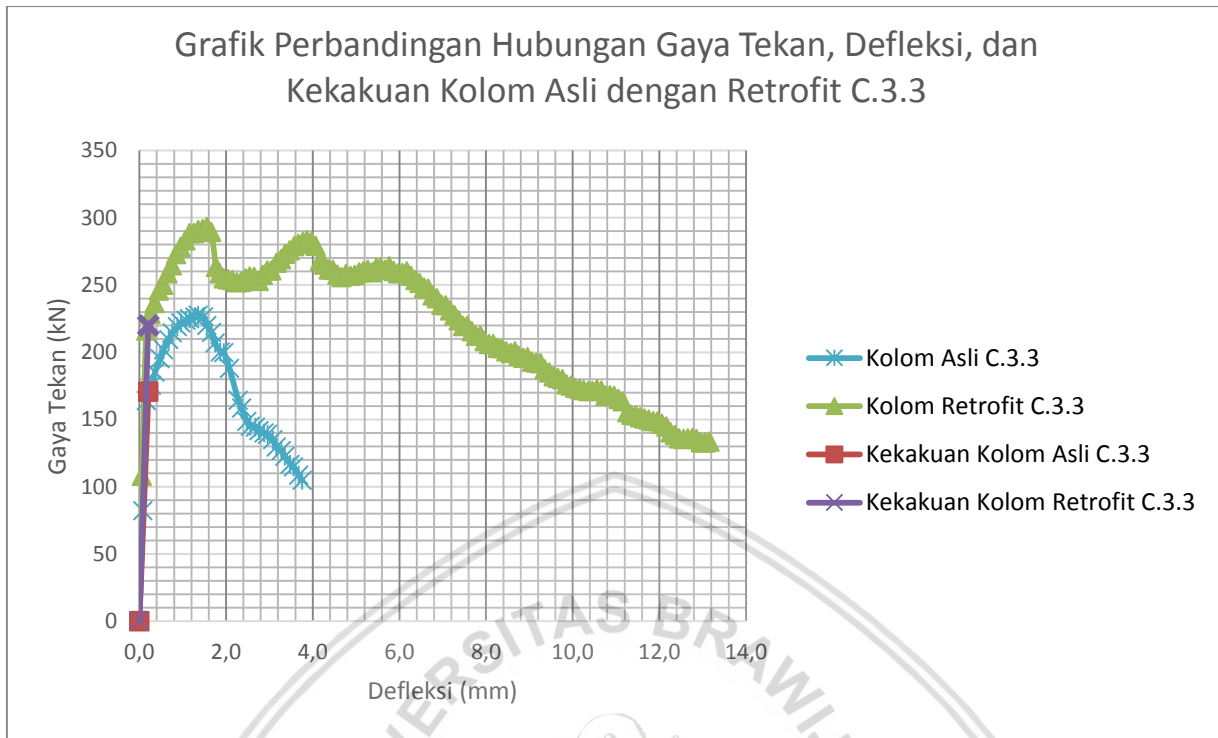
106	10,46	210,9000	130,2000	171,2000	170,7667
107	10,56	209,2000	129,7000	172,5000	170,4667
108	10,66	207,2000	131,4000	171,4000	170,0000
109	10,76	209,7000	128,7000	167,7000	168,7000
110	10,86	207,0000	128,3000	168,0000	167,7667
111	10,96	208,5000	130,2000	167,5000	168,7333
112	11,06	206,4000	128,3000	165,2000	166,6333
113	11,16	207,7000	127,7000	163,4000	166,2667
114	11,26	204,8000	126,3000	155,4000	162,1667
115	11,36	205,9000	127,2000	153,5000	162,2000
116	11,46	204,3000	127,5000	152,9000	161,5667
117	11,56	204,3000	125,4000	151,7000	160,4667
118	11,66	203,2000	125,5000	150,7000	159,8000
119	11,76	202,6000	126,8000	149,9000	159,7667
120	11,86	201,7000	124,5000	148,8000	158,3333
121	11,96	200,2000	124,5000	148,7000	157,8000
122	12,06	199,3000	126,7000	146,8000	157,6000
123	12,16	199,9000	126,0000	144,7000	156,8667
124	12,26	198,2000	123,8000	140,4000	154,1333
125	12,36	200,1000	126,7000	138,4000	155,0667
126	12,46	196,4000	128,3000	135,9000	153,5333
127	12,56	198,7000	127,0000	135,4000	153,7000
128	12,66	194,5000	128,7000	135,8000	153,0000
129	12,76	196,7000	129,7000	136,1000	154,1667
130	12,86	194,2000	128,6000	135,3000	152,7000
131	12,96	196,4000	129,1000	133,0000	152,8333
132	13,06	196,3000	127,8000	132,8000	152,3000
133	13,16	193,0000	130,7000	133,5000	152,4000



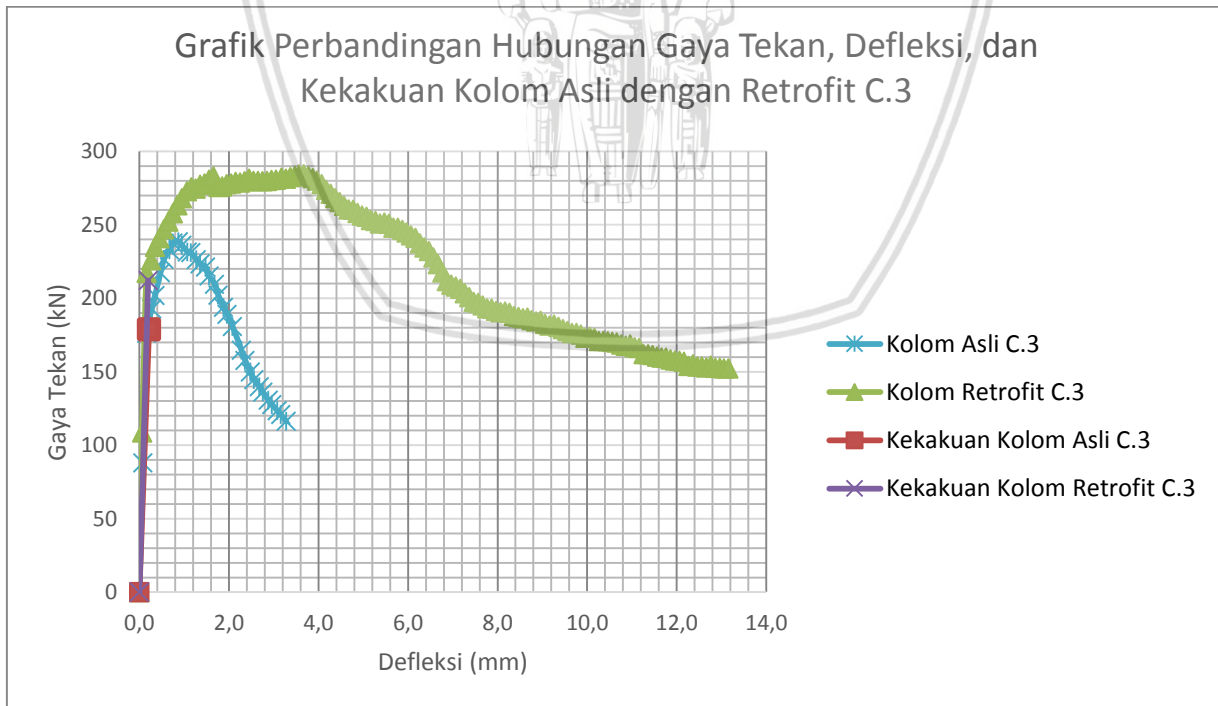
Gambar 4.1911 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.3.1 dengan kolom retrofit C.3.1



Gambar 4.20 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.3.2 dengan kolom retrofit C.3.2



Gambar 4.21 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.3.3 dengan kolom retrofit C.3.3.



Gambar 4.22 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli C.3 dengan kolom retrofit C.3

Hasil analisis data gaya tekan dan defleksi pada kolom C.3 memiliki nilai kekakuan pada kolom asli C.3 sebesar 830,88 kN/mm dan pada kolom retrofit C.3 memiliki nilai kekakuan sebesar 1086,67 kN/mm. Maka terjadi peningkatan kekakuan pada kolom retrofit C.3 sebesar 30,78 % dari nilai kekakuan kolom asli C.3.



4.6.2.4 Kolom Asli D.3 dengan Kolom Retrofit D.3

Tabel 4.16 Tabel data rata –rata hasil uji tekan kolom asli D.3

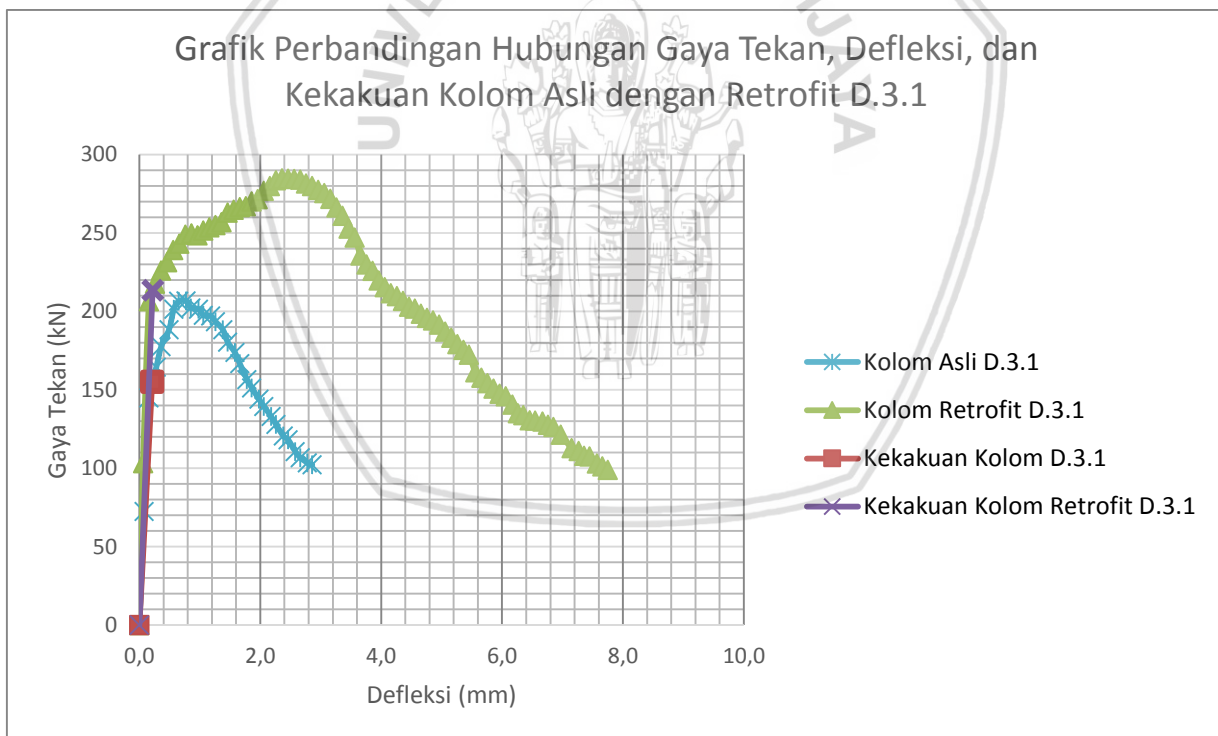
No	Defleksi	D.3.1	D.3.2	D.3.3	RATA - RATA
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
	(mm)	kN	kN	kN	kN
1	0,0	0	0	0	0
2	0,1	72,5000	88,7500	102,8500	88,0333
3	0,2	145,0000	177,5000	205,7000	176,0667
4	0,3	164,5000	194,7000	223,9000	194,3667
5	0,4	177,5000	212,7000	235,3000	208,5000
6	0,5	188,4000	227,3000	246,8000	220,8333
7	0,6	201,4000	240,9000	260,6000	234,3000
8	0,7	206,5000	248,4000	270,8000	241,9000
9	0,8	206,8000	249,3000	279,5000	245,2000
10	0,9	202,2000	245,8000	284,2000	244,0667
11	1,0	201,5000	245,1000	283,7000	243,4333
12	1,1	197,5000	240,4000	278,0000	238,6333
13	1,2	197,1000	229,8000	274,9000	233,9333
14	1,3	193,4000	219,2000	265,9000	226,1667
15	1,4	188,4000	208,8000	253,4000	216,8667
16	1,5	180,5000	202,4000	248,8000	210,5667
17	1,6	173,8000	196,3000	232,8000	200,9667
18	1,7	166,8000	192,8000	227,2000	195,6000
19	1,8	156,6000	190,2000	217,6000	188,1333
20	1,9	151,3000	182,6000	213,2000	182,3667
21	2,0	144,0000	178,1000	207,0000	176,3667
22	2,1	139,4000	169,6000	208,2000	172,4000
23	2,2	133,0000	164,5000	197,8000	165,1000
24	2,3	127,9000	156,9000	193,6000	159,4667
25	2,4	120,6000	151,8000	186,0000	152,8000
26	2,5	118,2000	148,9000	183,4000	150,1667
27	2,6	110,7000	144,2000	177,2000	144,0333
28	2,7	106,8000	140,8000	172,1000	139,9000
29	2,8	103,5000	136,0000	161,3000	133,6000
30	2,9	102,2000	134,0000	151,1000	129,1000

Tabel 4.17 Tabel data rata –rata hasil uji tekan kolom retrofit D.3

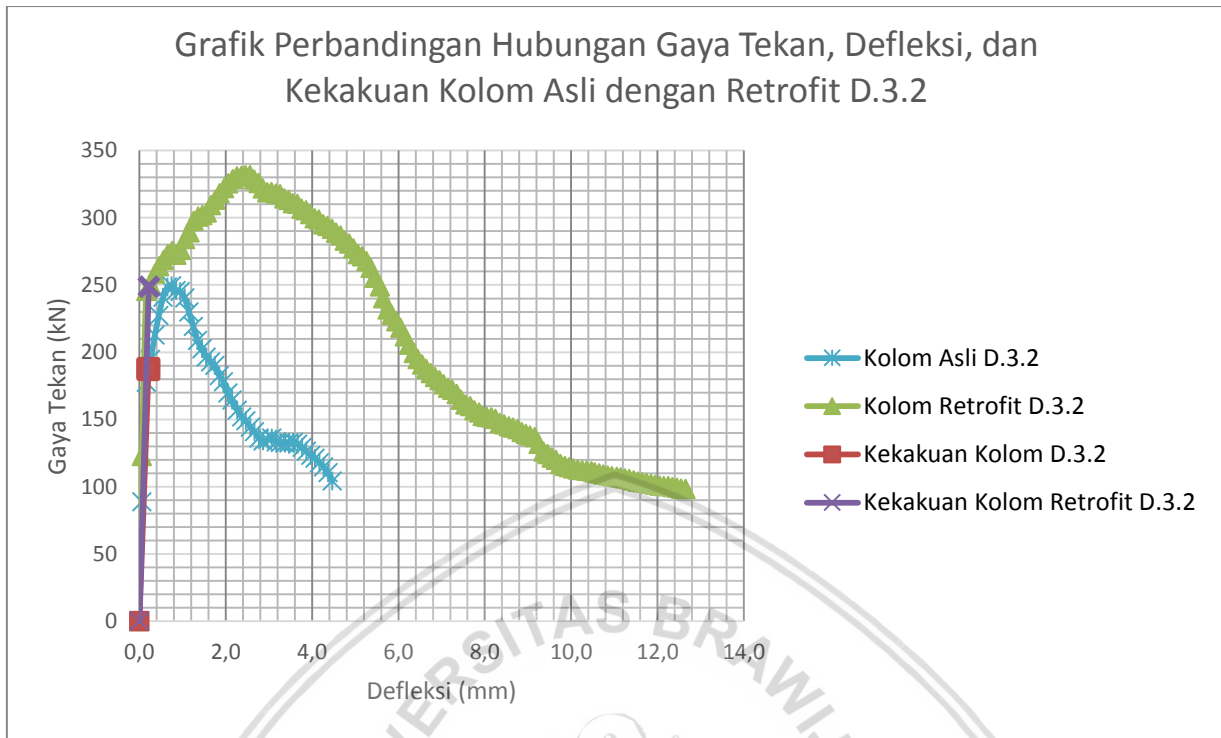
No	Defleksi (mm)	D.3.1	D.3.2	D.3.3	RATA - RATA
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
1	0,0	0	0	0	0
2	0,1	103,2500	122,8500	123,4500	116,5167
3	0,2	206,5000	245,7000	246,9000	233,0333
4	0,3	217,7000	250,5000	261,3000	243,1667
5	0,4	226,1000	258,5000	271,9000	252,1667
6	0,5	231,4000	263,9000	283,9000	259,7333
7	0,6	239,2000	268,7000	291,8000	266,5667
8	0,7	243,2000	273,0000	300,8000	272,3333
9	0,8	248,9000	275,3000	307,9000	277,3667
10	0,9	249,7000	272,4000	315,8000	279,3000
11	1,0	248,5000	276,0000	320,1000	281,5333
12	1,1	251,7000	284,2000	324,2000	286,7000
13	1,2	253,6000	289,1000	326,7000	289,8000
14	1,3	255,1000	297,6000	330,9000	294,5333
15	1,4	257,0000	300,7000	335,1000	297,6000
16	1,5	263,0000	301,9000	335,4000	300,1000
17	1,6	264,8000	303,9000	337,8000	302,1667
18	1,7	266,6000	309,4000	338,7000	304,9000
19	1,8	267,1000	313,5000	338,9000	306,5000
20	1,9	270,2000	318,1000	339,1000	309,1333
21	2,0	271,6000	322,0000	337,9000	310,5000
22	2,1	277,0000	325,6000	336,1000	312,9000
23	2,2	279,9000	328,6000	336,3000	314,9333
24	2,3	283,6000	330,7000	336,9000	317,0667
25	2,4	284,8000	331,0000	337,4000	317,7333
26	2,5	284,7000	331,5000	337,9000	318,0333
27	2,6	284,4000	331,7000	337,5000	317,8667
28	2,7	284,0000	328,4000	335,9000	316,1000
29	2,8	281,5000	325,8000	334,8000	314,0333
30	2,9	280,0000	321,8000	334,0000	311,9333
31	3,0	277,6000	318,8000	331,7000	309,3667
32	3,1	275,4000	319,1000	330,8000	308,4333
33	3,2	271,8000	317,9000	329,3000	306,3333
34	3,3	266,2000	317,5000	328,8000	304,1667
35	3,4	260,9000	314,3000	328,3000	301,1667

No	Defleksi (mm)	D.3.1	D.3.2	D.3.3	RATA - RATA
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
36	3,5	252,9000	313,3000	327,3000	297,8333
37	3,6	247,2000	310,8000	326,5000	294,8333
38	3,7	235,7000	310,3000	323,9000	289,9667
39	3,8	230,0000	306,7000	323,3000	286,6667
40	3,9	226,0000	305,6000	320,9000	284,1667
41	4,0	219,7000	302,6000	317,7000	280,0000
42	4,1	215,5000	299,6000	314,9000	276,6667
43	4,2	211,6000	298,6000	312,3000	274,1667
44	4,3	209,7000	295,1000	311,4000	272,0667
45	4,4	206,8000	294,0000	310,2000	270,3333
46	4,5	203,0000	291,8000	309,1000	267,9667
47	4,6	201,8000	288,8000	307,5000	266,0333
48	4,7	198,5000	286,7000	305,4000	263,5333
49	4,8	195,9000	283,0000	303,1000	260,6667
50	4,9	194,3000	280,9000	302,7000	259,3000
51	5,0	191,7000	277,2000	301,1000	256,6667
52	5,1	187,2000	273,0000	299,3000	253,1667
53	5,2	183,3000	271,2000	296,4000	250,3000
54	5,3	179,2000	267,8000	293,8000	246,9333
55	5,4	175,5000	262,7000	291,4000	243,2000
56	5,5	172,5000	255,3000	288,1000	238,6333
57	5,6	161,3000	248,9000	283,7000	231,3000
58	5,7	157,8000	240,2000	279,4000	225,8000
59	5,8	154,2000	231,9000	276,0000	220,7000
60	5,9	150,8000	227,8000	272,4000	217,0000
61	6,0	147,5000	222,9000	271,3000	213,9000
62	6,1	145,9000	218,3000	267,7000	210,6333
63	6,2	140,6000	211,9000	262,6000	205,0333
64	6,3	135,2000	205,7000	256,7000	199,2000
65	6,4	133,8000	199,5000	250,7000	194,6667
66	6,5	130,7000	194,9000	246,9000	190,8333
67	6,6	130,5000	190,9000	242,2000	187,8667
68	6,7	129,8000	187,5000	237,8000	185,0333
69	6,8	127,7000	184,4000	235,0000	182,3667
70	6,9	126,4000	181,6000	230,9000	179,6333

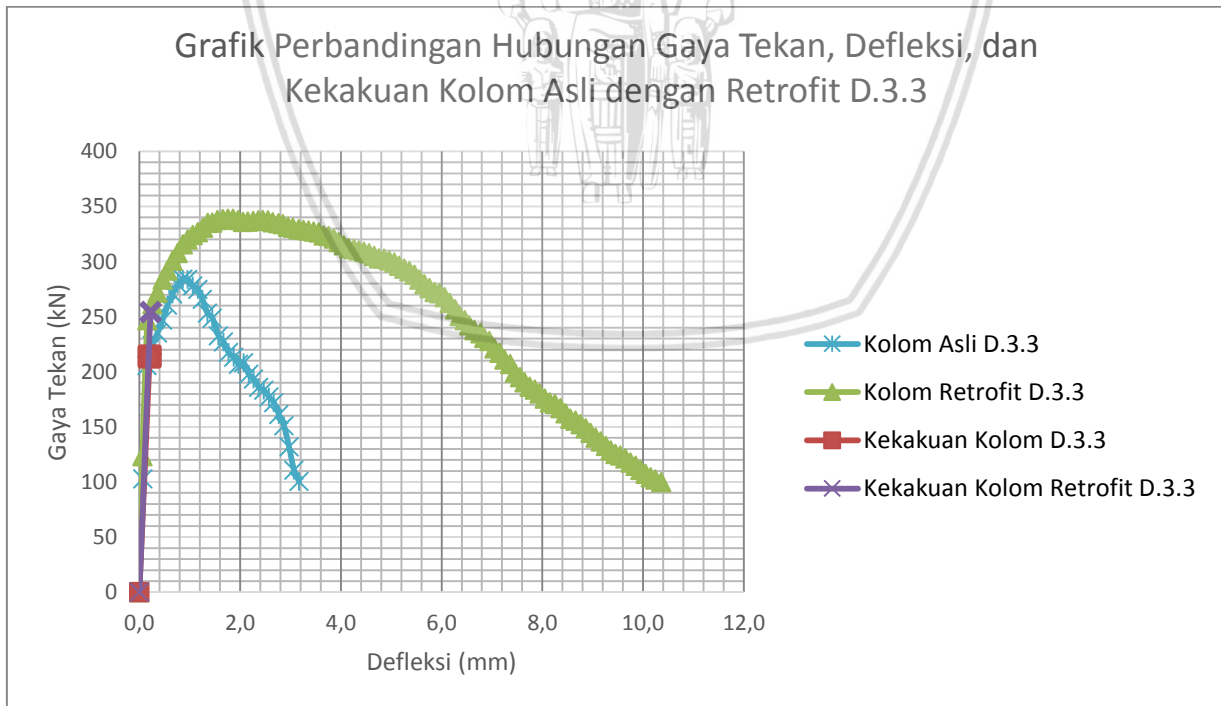
No	Defleksi (mm)	D.3.1	D.3.2	D.3.3	RATA - RATA
		Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan	Gaya Tekan
		kN	kN	kN	kN
71	7,0	121,4000	179,1000	228,1000	176,2000
72	7,2	112,9000	173,4000	217,2000	167,8333
73	7,3	111,0000	172,0000	211,1000	164,7000
74	7,4	108,0000	169,0000	207,1000	161,3667
75	7,5	107,5000	164,7000	199,3000	157,1667
76	7,6	103,1000	161,2000	195,2000	153,1667
77	7,7	101,2000	160,0000	190,7000	150,6333
78	7,8	99,1000	156,8000	186,6000	147,5000



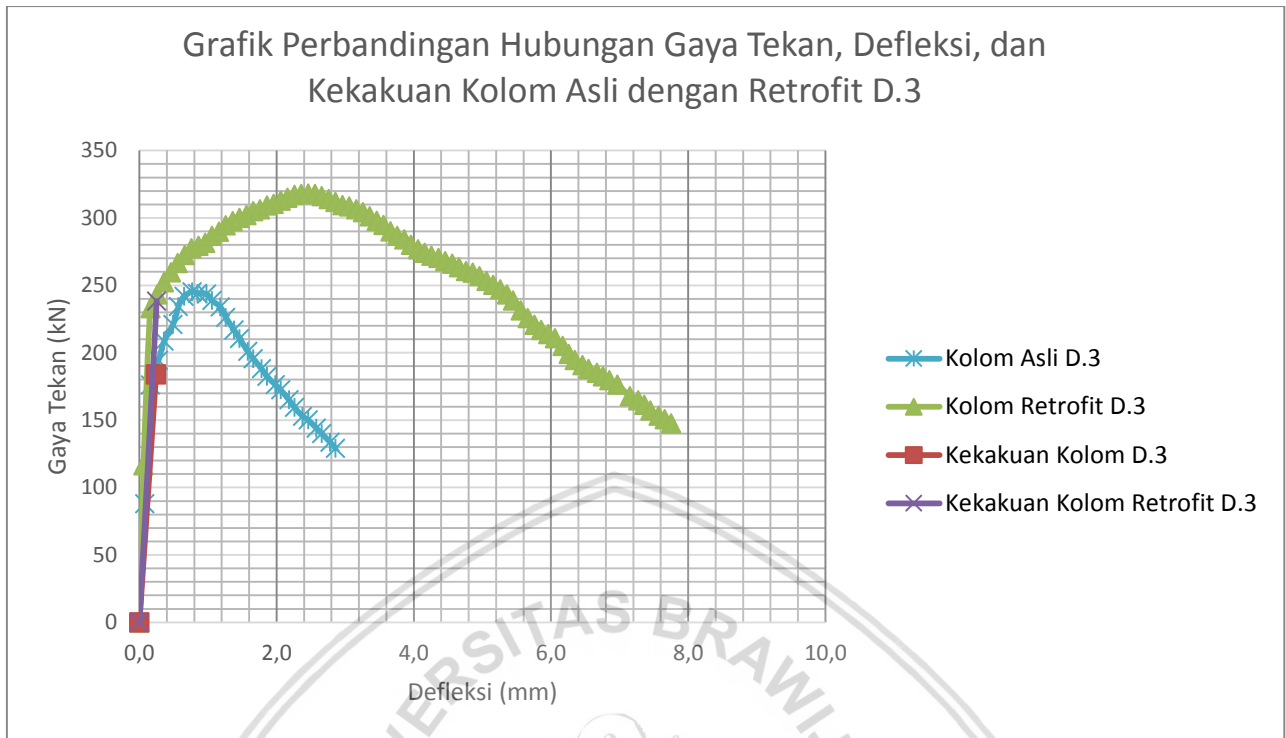
Gambar 4.23 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.3.1 dengan kolom retrofit D.3.1



Gambar 4.24 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.3.2 dengan kolom retrofit D.3.2



Gambar 4.25 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.3.3 dengan kolom retrofit D.3.3



Gambar 4.26 Grafik perbandingan hasil gaya tekan dan defleksi kolom asli D.3 dengan kolom retrofit D.3

Hasil analisis data gaya tekan dan defleksi pada kolom D.3 memiliki nilai kekakuan pada kolom asli D.3 sebesar 757,4 kN/mm dan pada kolom retrofit D.3 didapatkan nilai kekakuan sebesar 945,73 kN/mm. Maka terjadi penurunan kekakuan pada kolom retrofit D.3 sebesar 24,87 % dari nilai kekakuan kolom asli D.3.

4.6.3 Grafik Hubungan Tegangan dan Regangan Kolom Asli dan Kolom Retrofit

Modulus elastisitas antara kolom asli dengan kolom retrofit bertujuan untuk mengetahui nilai kekakuan suatu benda. Semakin besar nilai modulus elastisitas suatu benda, maka benda akan semakin besar nilai kekakuan benda tersebut dan benda semakin kaku. Dan sebaliknya apabila nilai modulus elastisitas suatu benda kecil, maka benda tersebut akan mudah elastis.

Nilai modulus elastisitas didapatkan dari rumus :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

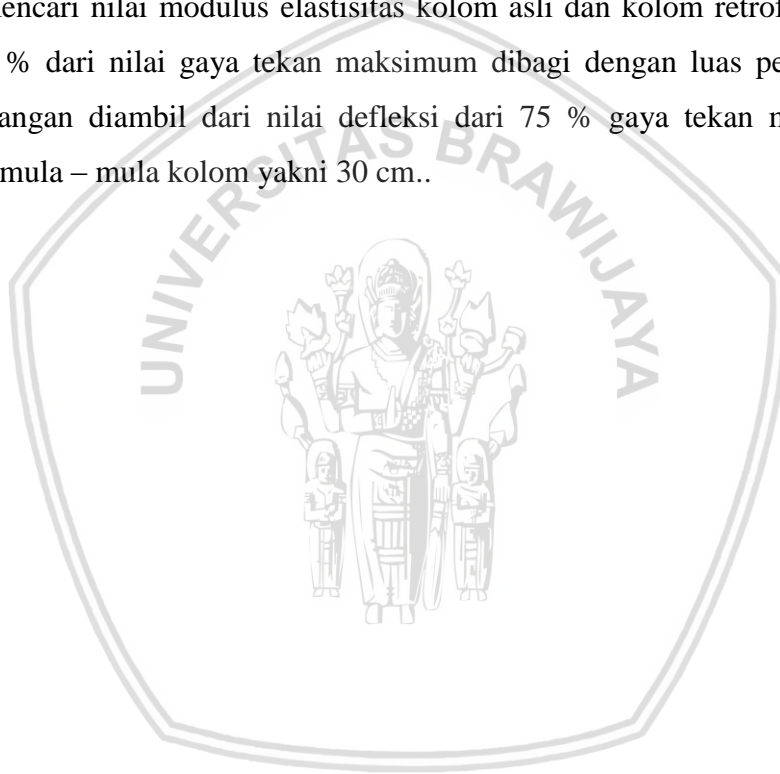
Dimana :

E = Modulus Elastisitas (kN/mm²)

σ = Tegangan (kN/mm²)

ε = Regangan

Untuk mencari nilai modulus elastisitas kolom asli dan kolom retrofit, nilai tegangan didapat dari 75 % dari nilai gaya tekan maksimum dibagi dengan luas penampang kolom. Untuk nilai regangan diambil dari nilai defleksi dari 75 % gaya tekan maksimum dibagi dengan panjang mula – mula kolom yakni 30 cm..



Tabel 4.18 Tabel data modulus elastisitas hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		75% Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		Regangan		Modulus Elastisitas (kN/mm ²)		
		Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	
1	A3	A.3.1	0,0166	0,0057	0,0124	0,0043	0,0007	0,0007	18,4048	6,2841
2		A.3.2	0,0154	0,0121	0,0115	0,0091	0,0007	0,0007	16,4583	13,0217
3		A.3.3	0,0149	0,0099	0,0112	0,0074	0,0007	0,0007	16,2048	10,2122
4	B3	B.3.1	0,0132	0,0061	0,0099	0,0046	0,0006	0,0007	15,3750	6,8141
5		B.3.2	0,0172	0,0144	0,0129	0,0108	0,0006	0,0007	20,1166	15,9402
6		B.3.3	0,0173	0,0147	0,0129	0,0110	0,0007	0,0007	18,4269	15,8687
7	C3	C.3.1	0,0178	0,0112	0,0133	0,0084	0,0007	0,0007	19,1058	11,6607
8		C.3.2	0,0171	0,0070	0,0129	0,0053	0,0007	0,0007	18,5187	7,7778
9		C.3.3	0,0158	0,0090	0,0118	0,0068	0,0007	0,0007	17,0195	10,0441
10	D3	D.3.1	0,0144	0,0088	0,0108	0,0066	0,0007	0,0007	15,3084	9,0542
11		D.3.2	0,0173	0,0102	0,0130	0,0077	0,0007	0,0007	18,5113	10,6256
12		D.3.3	0,0198	0,0105	0,0148	0,0078	0,0007	0,0007	21,8635	10,7261

Tabel 4.19 Tabel data rata –rata modulus elastisitas hasil uji tekan kolom asli dan kolom retrofit

NO	Kode Benda Uji Kolom	Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		75% Tegangan Maksimum (kN/mm ²)		Regangan		Modulus Elastisitas (kN/mm ²)	
		Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit
1	A3	0,0154	0,0090	0,0116	0,0067	0,0007	0,0007	17,4722	10,2315
2	B3	0,0156	0,0111	0,0117	0,0084	0,0007	0,0006	17,8403	12,9105
3	C3	0,0166	0,0087	0,0124	0,0065	0,0007	0,0007	17,3101	10,0617
4	D3	0,0170	0,0098	0,0128	0,0074	0,0008	0,0008	15,7791	8,7568

100

Contoh perhitungan modulus elastisitas (E) kolom (Kolom retrofit A.3) :

Dik :

$$\sigma_{\max} = 0,0154$$

$$75\% \sigma_{\max} = 75\% \times 0,0154 = 0,0116 \text{ kN/mm}^2$$

Dit : E ?

Jawab :

$$\varepsilon = 0,00033 + \frac{(0,0116 - 0,1)}{(0,2 - 0,0116)} \times (0,2 - 0,1)$$

$$\varepsilon = 0,00066$$

$$E = \frac{75\% \sigma_{\max}}{\varepsilon}$$

$$E = \frac{0,0116 \text{ kN/mm}^2}{0,00066}$$

$$E = 17,4722 \text{ kN/mm}^2$$



4.6.3.1 Kolom Asli A.3 dengan Kolom Retrofit A.3

Tabel 4.20 Tabel data rata –rata hasil tegangan regangan kolom asli A.3

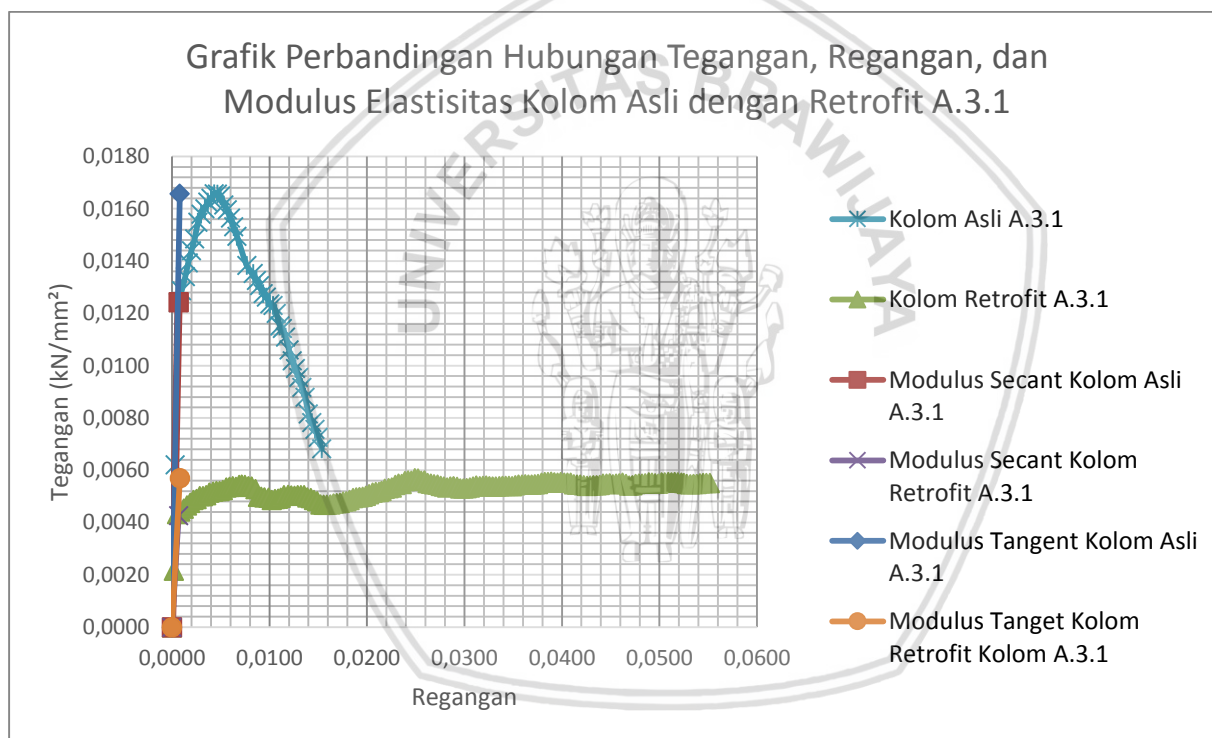
No	Defleksi (mm)	Regangan	A.3.1		A.3.2		A.3.3		RATA - RATA
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN/mm2
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,1	0,0003	89,4000	0,0062	82,0500	0,0057	80,1500	0,0056	0,0058
3	0,2	0,0007	178,8000	0,0124	164,1000	0,0114	160,3000	0,0111	0,0116
4	0,3	0,0010	185,4000	0,0129	174,2000	0,0121	168,8000	0,0117	0,0122
5	0,4	0,0013	193,1000	0,0134	182,4000	0,0127	181,3000	0,0126	0,0129
6	0,5	0,0017	200,7000	0,0139	193,2000	0,0134	192,7000	0,0134	0,0136
7	0,6	0,0020	207,4000	0,0144	201,7000	0,0140	200,8000	0,0139	0,0141
8	0,7	0,0023	213,9000	0,0149	211,0000	0,0147	208,7000	0,0145	0,0147
9	0,8	0,0027	223,0000	0,0155	216,8000	0,0151	210,9000	0,0146	0,0151
10	0,9	0,0030	227,4000	0,0158	217,8000	0,0151	215,0000	0,0149	0,0153
11	1	0,0033	230,5000	0,0160	221,2000	0,0154	214,7000	0,0149	0,0154
12	1,1	0,0037	234,1000	0,0163	219,1000	0,0152	213,6000	0,0148	0,0154
13	1,2	0,0040	236,3000	0,0164	219,0000	0,0152	211,4000	0,0147	0,0154
14	1,3	0,0043	238,7000	0,0166	216,0000	0,0150	205,5000	0,0143	0,0153
15	1,4	0,0047	238,6000	0,0166	209,4000	0,0145	197,3000	0,0137	0,0149
16	1,5	0,0050	237,5000	0,0165	205,9000	0,0143	192,0000	0,0133	0,0147
17	1,6	0,0053	232,5000	0,0161	197,4000	0,0137	183,9000	0,0128	0,0142
18	1,7	0,0057	230,0000	0,0160	193,5000	0,0134	171,2000	0,0119	0,0138
19	1,8	0,0060	225,4000	0,0157	188,0000	0,0131	157,0000	0,0109	0,0132
20	1,9	0,0063	220,6000	0,0153	184,0000	0,0128	149,8000	0,0104	0,0128
21	2	0,0067	215,3000	0,0150	177,8000	0,0123	138,3000	0,0096	0,0123
22	2,3	0,0077	199,2000	0,0138	157,1000	0,0109	118,8000	0,0083	0,0110
23	2,5	0,0083	194,9000	0,0135	144,4000	0,0100	107,0000	0,0074	0,0103
24	2,6	0,0087	190,9000	0,0133	138,0000	0,0096	102,1000	0,0071	0,0100
25	2,7	0,0090	188,1000	0,0131	133,8000	0,0093	98,4000	0,0068	0,0097

Tabel 4.21 Tabel data rata –rata hasil tegangan regangan kolom Retrofit A.3

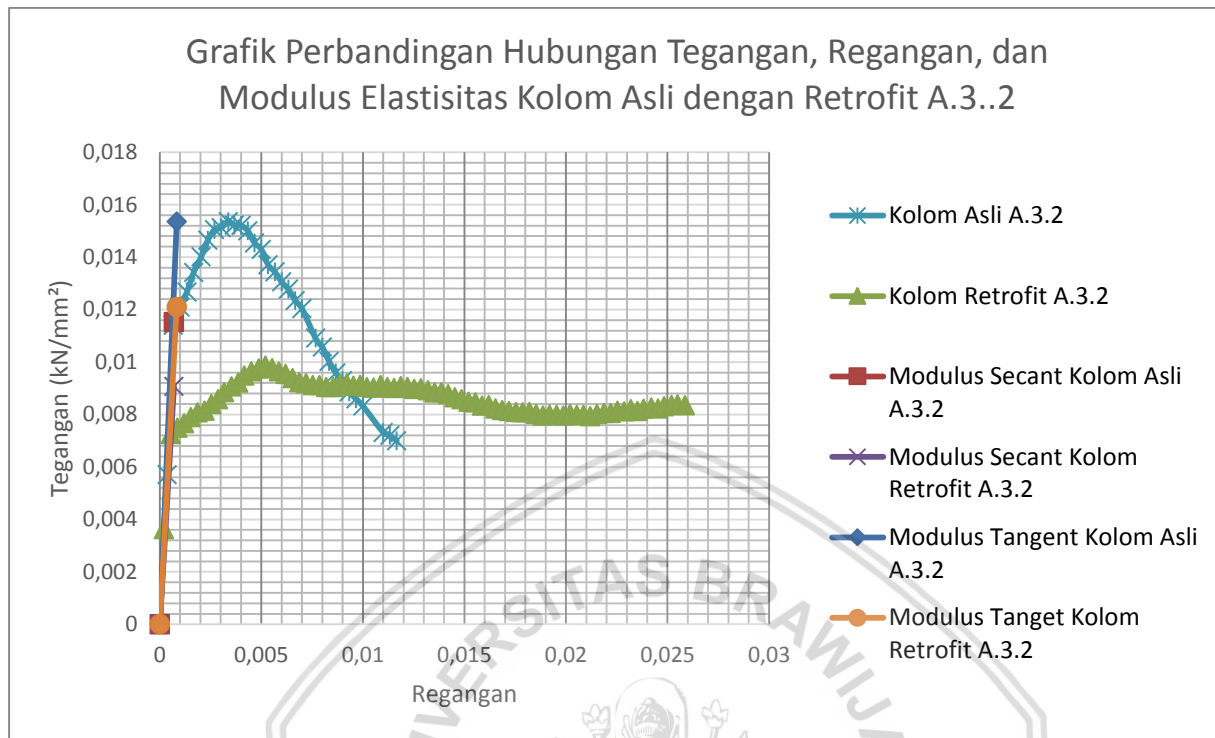
No	Defleksi (mm)	Regangan	A.3.1		A.3.2		A.3.3		RATA - RATA
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN/mm2
1	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,0600	0,0002	70,0500	0,0022	143,9500	0,0044	117,5000	0,0036	0,0034
3	0,1600	0,0005	140,1000	0,0043	287,9000	0,0089	235,0000	0,0073	0,0068
4	0,2600	0,0009	143,4000	0,0044	297,6000	0,0092	242,8000	0,0075	0,0070
5	0,3600	0,0012	147,0000	0,0045	308,4000	0,0095	248,4000	0,0077	0,0072
6	0,4600	0,0015	151,0000	0,0047	324,4000	0,0100	255,9000	0,0079	0,0075
7	0,5600	0,0019	154,2000	0,0048	335,8000	0,0104	262,0000	0,0081	0,0077
8	0,6600	0,0022	157,5000	0,0049	349,8000	0,0108	263,9000	0,0081	0,0079
9	0,7600	0,0025	158,9000	0,0049	363,4000	0,0112	272,2000	0,0084	0,0082
10	0,8600	0,0029	162,3000	0,0050	378,3000	0,0117	278,0000	0,0086	0,0084
11	0,9500	0,0032	162,6000	0,0050	389,0000	0,0120	286,7000	0,0088	0,0086
12	1,0600	0,0035	163,5000	0,0050	376,4000	0,0116	294,0000	0,0091	0,0086
13	1,1600	0,0039	166,6000	0,0051	378,3000	0,0117	298,8000	0,0092	0,0087
14	1,2500	0,0042	167,8000	0,0052	385,1000	0,0119	307,5000	0,0095	0,0089
15	1,3500	0,0045	168,6000	0,0052	391,9000	0,0121	312,5000	0,0096	0,0090
16	1,4600	0,0049	168,9000	0,0052	380,1000	0,0117	316,0000	0,0098	0,0089
17	1,5600	0,0052	170,1000	0,0053	360,9000	0,0111	319,6000	0,0099	0,0088
18	1,6600	0,0055	173,2000	0,0053	356,0000	0,0110	316,4000	0,0098	0,0087
19	1,7600	0,0059	173,8000	0,0054	351,0000	0,0108	312,4000	0,0096	0,0086
20	1,8600	0,0062	174,7000	0,0054	348,3000	0,0108	309,3000	0,0095	0,0086
21	1,9600	0,0065	173,8000	0,0054	346,5000	0,0107	304,1000	0,0094	0,0085
22	2,0600	0,0069	176,4000	0,0054	346,7000	0,0107	299,2000	0,0092	0,0085
23	2,1600	0,0072	176,7000	0,0055	347,7000	0,0107	297,8000	0,0092	0,0085
24	2,2600	0,0075	176,3000	0,0054	347,0000	0,0107	295,4000	0,0091	0,0084
25	2,3600	0,0079	174,8000	0,0054	347,1000	0,0107	295,3000	0,0091	0,0084
26	2,4600	0,0082	174,3000	0,0054	346,0000	0,0107	293,3000	0,0091	0,0084
27	2,5600	0,0085	171,2000	0,0053	335,8000	0,0104	293,2000	0,0090	0,0082
28	2,6600	0,0089	161,6000	0,0050	329,1000	0,0102	296,7000	0,0092	0,0081
29	2,7600	0,0092	161,8000	0,0050	323,5000	0,0100	297,5000	0,0092	0,0081
30	2,8600	0,0095	160,9000	0,0050	318,9000	0,0098	294,8000	0,0091	0,0080
31	2,9600	0,0099	160,5000	0,0050	315,5000	0,0097	295,8000	0,0091	0,0079
32	3,0600	0,0102	157,7000	0,0049	309,6000	0,0096	293,1000	0,0090	0,0078
33	3,1600	0,0105	159,0000	0,0049	303,7000	0,0094	292,4000	0,0090	0,0078
34	3,2600	0,0109	159,3000	0,0049	298,6000	0,0092	295,3000	0,0091	0,0077
35	3,3600	0,0112	160,5000	0,0050	274,9000	0,0085	293,3000	0,0091	0,0075

No	Defleksi (mm)	Regangan	A.3.1		A.3.2		A.3.3		RATA - RATA
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN/mm ²
36	3,4600	0,0115	163,6000	0,0050	269,9000	0,0083	291,8000	0,0090	0,0075
37	3,5600	0,0119	164,0000	0,0051	268,4000	0,0083	294,4000	0,0091	0,0075
38	3,6600	0,0122	163,2000	0,0050	266,1000	0,0082	293,0000	0,0090	0,0074
39	3,7600	0,0125	162,8000	0,0050	258,9000	0,0080	290,9000	0,0090	0,0073
40	3,8600	0,0129	163,8000	0,0051	253,7000	0,0078	291,4000	0,0090	0,0073
41	3,9600	0,0132	163,8000	0,0051	251,3000	0,0078	289,0000	0,0089	0,0072
42	4,0600	0,0135	163,6000	0,0050	248,9000	0,0077	286,2000	0,0088	0,0072
43	4,1600	0,0139	160,7000	0,0050	244,9000	0,0076	286,6000	0,0088	0,0071
44	4,2600	0,0142	159,9000	0,0049	243,0000	0,0075	284,5000	0,0088	0,0071
45	4,3600	0,0145	157,8000	0,0049	242,0000	0,0075	280,6000	0,0087	0,0070
46	4,4600	0,0149	156,1000	0,0048	242,4000	0,0075	278,0000	0,0086	0,0070
47	4,5600	0,0152	152,3000	0,0047	241,7000	0,0075	275,1000	0,0085	0,0069
48	4,6600	0,0155	151,8000	0,0047	241,7000	0,0075	274,3000	0,0085	0,0069
49	4,7600	0,0159	151,7000	0,0047	242,0000	0,0075	270,0000	0,0083	0,0068
50	4,8600	0,0162	152,1000	0,0047	240,5000	0,0074	270,8000	0,0084	0,0068
51	4,9600	0,0165	153,2000	0,0047	240,5000	0,0074	266,5000	0,0082	0,0068
52	5,0600	0,0169	153,5000	0,0047	239,1000	0,0074	264,6000	0,0082	0,0068
53	5,1600	0,0172	154,0000	0,0048	240,1000	0,0074	263,6000	0,0081	0,0068
54	5,2600	0,0175	155,8000	0,0048	239,2000	0,0074	262,3000	0,0081	0,0068
55	5,3600	0,0179	156,0000	0,0048	236,4000	0,0073	261,8000	0,0081	0,0067
56	5,4600	0,0182	157,5000	0,0049	236,9000	0,0073	262,2000	0,0081	0,0068
57	5,5600	0,0185	160,1000	0,0049	233,9000	0,0072	259,8000	0,0080	0,0067
58	5,6600	0,0189	160,8000	0,0050	231,6000	0,0071	258,0000	0,0080	0,0067
59	5,7600	0,0192	161,1000	0,0050	232,2000	0,0072	259,0000	0,0080	0,0067
60	5,8600	0,0195	161,8000	0,0050	230,0000	0,0071	258,7000	0,0080	0,0067
61	5,9600	0,0199	162,9000	0,0050	231,7000	0,0072	257,8000	0,0080	0,0067
62	6,0600	0,0202	164,9000	0,0051	229,5000	0,0071	260,0000	0,0080	0,0067
63	6,1600	0,0205	166,8000	0,0051	230,3000	0,0071	258,6000	0,0080	0,0067
64	6,2600	0,0209	167,5000	0,0052	226,8000	0,0070	258,9000	0,0080	0,0067
65	6,3600	0,0212	167,5000	0,0052	228,0000	0,0070	257,2000	0,0079	0,0067
66	6,4600	0,0215	168,8000	0,0052	226,3000	0,0070	260,0000	0,0080	0,0067
67	6,5600	0,0219	171,6000	0,0053	227,6000	0,0070	261,2000	0,0081	0,0068
68	6,6600	0,0222	172,5000	0,0053	225,1000	0,0069	260,9000	0,0081	0,0068
69	6,7600	0,0225	173,3000	0,0053	226,1000	0,0070	263,8000	0,0081	0,0068
70	6,8600	0,0229	176,2000	0,0054	226,8000	0,0070	262,9000	0,0081	0,0069

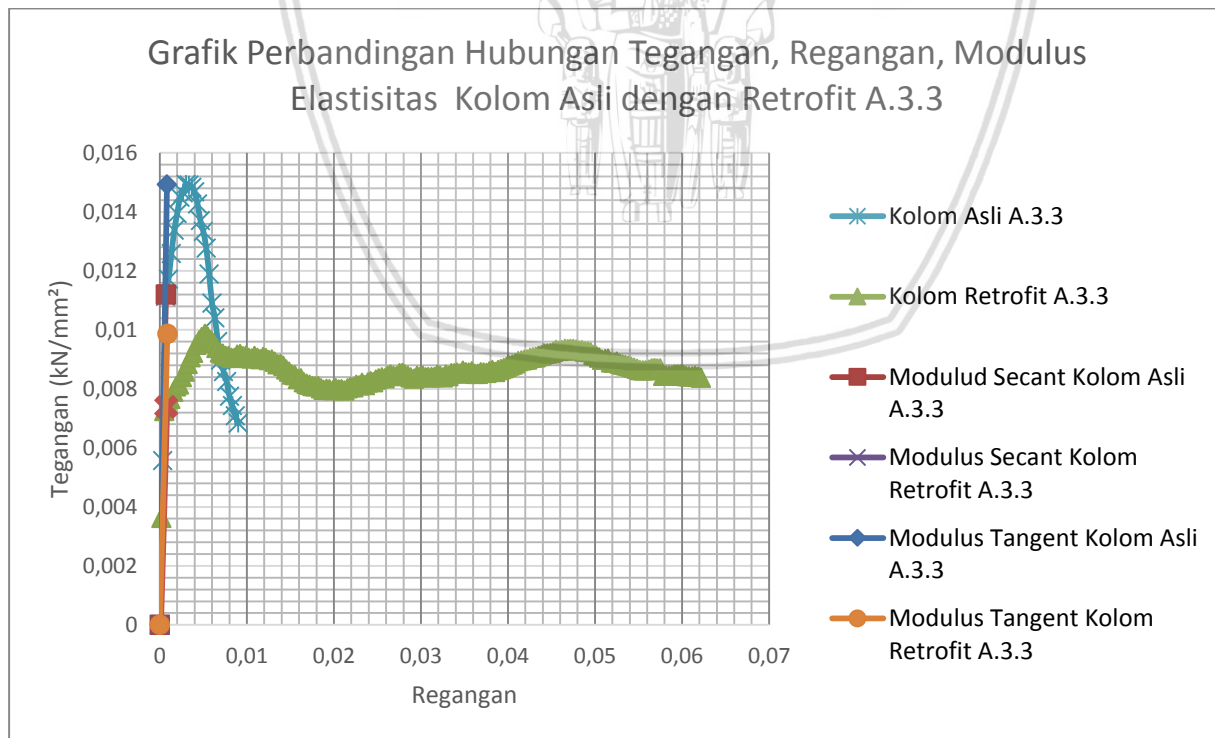
No	Defleksi (mm)	Regangan	A.3.1		A.3.2		A.3.3		RATA - RATA
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN/mm ²
71	6,9600	0,0232	177,9000	0,0055	224,4000	0,0069	265,7000	0,0082	0,0069
72	7,0600	0,0235	177,6000	0,0055	225,2000	0,0070	263,4000	0,0081	0,0069
73	7,1500	0,0238	181,0000	0,0056	223,1000	0,0069	266,3000	0,0082	0,0069
74	7,2600	0,0242	181,9000	0,0056	223,0000	0,0069	267,7000	0,0083	0,0069
75	7,3600	0,0245	181,6000	0,0056	221,2000	0,0068	266,5000	0,0082	0,0069
76	7,4500	0,0248	184,5000	0,0057	220,7000	0,0068	269,2000	0,0083	0,0069
77	7,5600	0,0252	184,2000	0,0057	218,4000	0,0067	270,8000	0,0084	0,0069
78	7,6500	0,0255	181,6000	0,0056	219,0000	0,0068	271,8000	0,0084	0,0069
79	7,7600	0,0259	181,8000	0,0056	217,7000	0,0067	270,7000	0,0084	0,0069



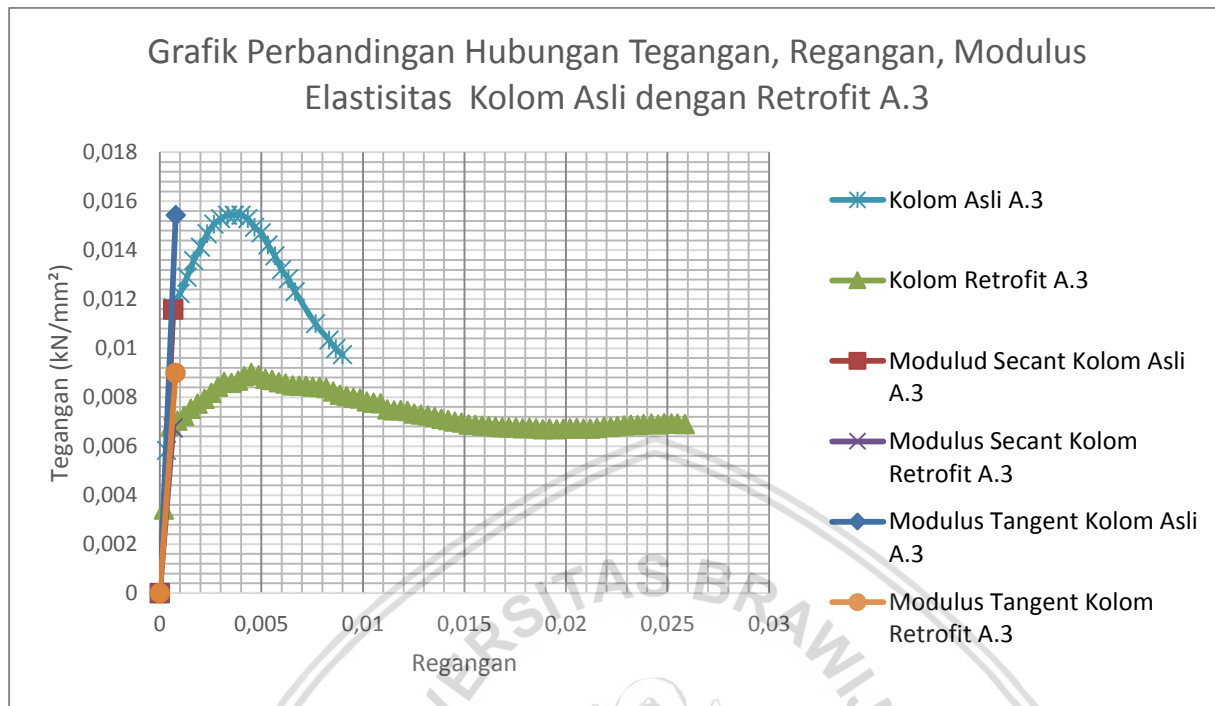
Gambar 4.27 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli A.3.1 dengan kolom retrofit A.3.1



Gambar 4.28 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli A.3.2 dengan kolom retrofit A.1.2.



Gambar 4.2912 Grafik hubungan tegangan regangan asli A.3.3 dengan kolom retrofit A.3.3



Gambar 4.3013 Grafik perbandingan hubungan tegangan regangan kolom asli A.3 dengan kolom retrofit A.3

Dari data penelitian didapatkan nilai modulus elastisitas yaitu kolom asli A.3 memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 17,4722 kN/mm² dan kolom retrofit A.3 memiliki modulus elastisitas sebesar 10,2315 kN/mm². Disimpulkan bahwa, kolom asli A.3 memiliki nilai modulus elastisitas lebih tinggi daripada kolom retrofit A.3. Besar penurunan modulus elastisitas kolom asli A.3 sebesar 41,44 % dari kolom retrofit A.3.

4.6.3.2 Kolom Asli B.3 dengan Kolom Retrofit B.3

Tabel 4.22 Tabel data rata –rata hasil tegangan regangan kolom asli B.3

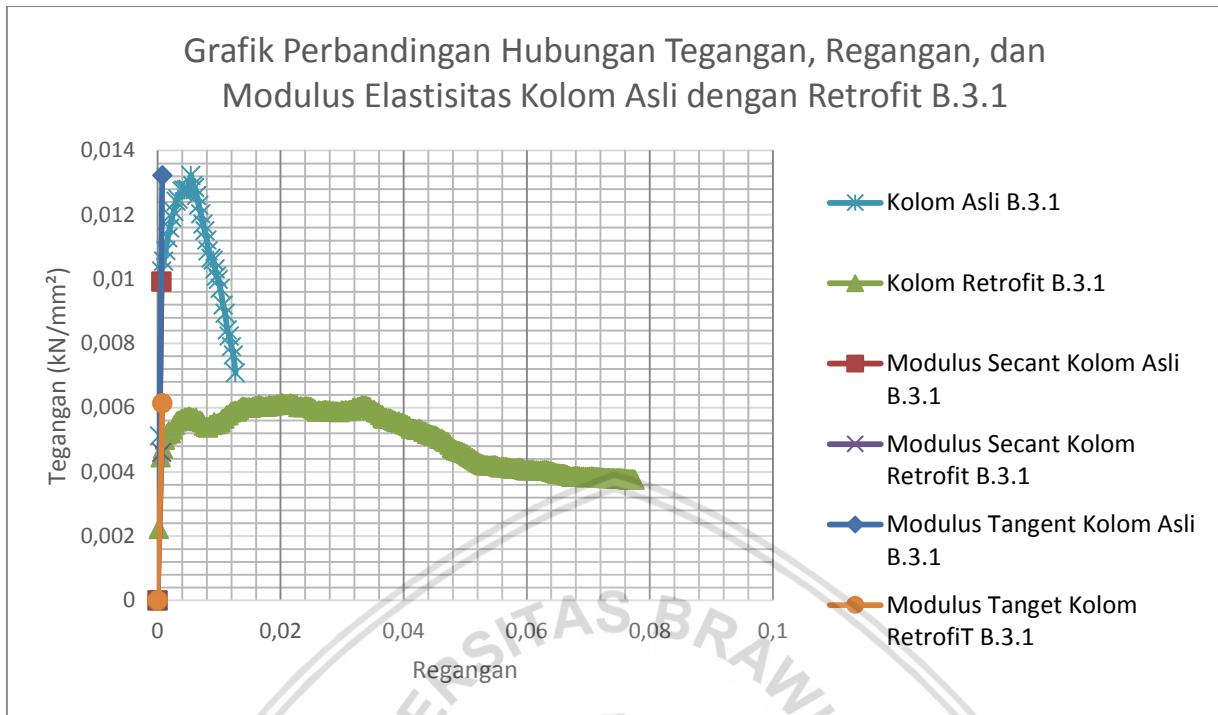
No	Defleksi (mm)	Regangan	B.3.1		B.3.2		B.3.3		RATA - RATA
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN/mm ²
1	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,1	0,0003	73,8000	0,0051	93,4500	0,0065	89,6500	0,0062	0,0059
3	0,2	0,0007	147,6000	0,0103	186,9000	0,0130	179,3000	0,0125	0,0119
4	0,3	0,0010	152,0000	0,0106	197,6000	0,0137	191,9000	0,0133	0,0125
5	0,4	0,0014	156,7000	0,0109	213,4000	0,0148	206,4000	0,0143	0,0133
6	0,5	0,0017	162,5000	0,0113	219,8000	0,0153	219,2000	0,0152	0,0139
7	0,6	0,0020	166,8000	0,0116	231,7000	0,0161	222,2000	0,0154	0,0144
8	0,7	0,0022	171,6000	0,0119	232,5000	0,0161	232,3000	0,0161	0,0147
9	0,8	0,0025	174,2000	0,0121	240,0000	0,0167	239,8000	0,0167	0,0151
10	0,9	0,0029	178,8000	0,0124	246,8000	0,0171	247,9000	0,0172	0,0156
11	1,0	0,0032	179,9000	0,0125	247,3000	0,0172	248,5000	0,0173	0,0156
12	1,2	0,0039	183,5000	0,0127	236,0000	0,0164	242,4000	0,0168	0,0153
13	1,3	0,0042	183,8000	0,0128	229,1000	0,0159	239,7000	0,0166	0,0151
14	1,4	0,0045	184,0000	0,0128	219,7000	0,0153	234,2000	0,0163	0,0148
15	1,5	0,0049	184,1000	0,0128	210,9000	0,0146	227,6000	0,0158	0,0144
16	1,6	0,0052	190,4000	0,0132	197,8000	0,0137	218,0000	0,0151	0,0140
17	1,7	0,0055	185,9000	0,0129	187,5000	0,0130	208,4000	0,0145	0,0135
18	1,8	0,0059	185,0000	0,0128	172,9000	0,0120	203,5000	0,0141	0,0130
19	1,9	0,0062	181,5000	0,0126	164,0000	0,0114	195,9000	0,0136	0,0125
20	2,0	0,0065	177,2000	0,0123	156,9000	0,0109	189,0000	0,0131	0,0121
21	2,1	0,0069	173,3000	0,0120	151,2000	0,0105	182,4000	0,0127	0,0117
22	2,2	0,0072	168,6000	0,0117	146,1000	0,0101	177,1000	0,0123	0,0114
23	2,3	0,0075	165,6000	0,0115	140,8000	0,0098	171,5000	0,0119	0,0111
24	2,4	0,0079	161,5000	0,0112	137,3000	0,0095	166,6000	0,0116	0,0108
25	2,5	0,0082	156,6000	0,0109	133,5000	0,0093	161,8000	0,0112	0,0105
26	2,6	0,0085	153,3000	0,0106	126,7000	0,0088	154,5000	0,0107	0,0101
27	2,7	0,0089	152,5000	0,0106	123,0000	0,0085	148,4000	0,0103	0,0098
28	2,8	0,0092	148,6000	0,0103	119,3000	0,0083	143,8000	0,0100	0,0095
29	2,9	0,0095	145,3000	0,0101	115,0000	0,0080	141,2000	0,0098	0,0093
30	3,0	0,0099	143,8000	0,0100	111,0000	0,0077	136,9000	0,0095	0,0091
31	3,1	0,0102	139,8000	0,0097	107,5000	0,0075	133,9000	0,0093	0,0088
32	3,2	0,0105	132,4000	0,0092	106,4000	0,0074	129,8000	0,0090	0,0085
33	3,3	0,0109	128,6000	0,0089	102,2000	0,0071	125,9000	0,0087	0,0083

Tabel 4.23 Tabel data rata –rata hasil tegangan regangan kolom retrofit B.3

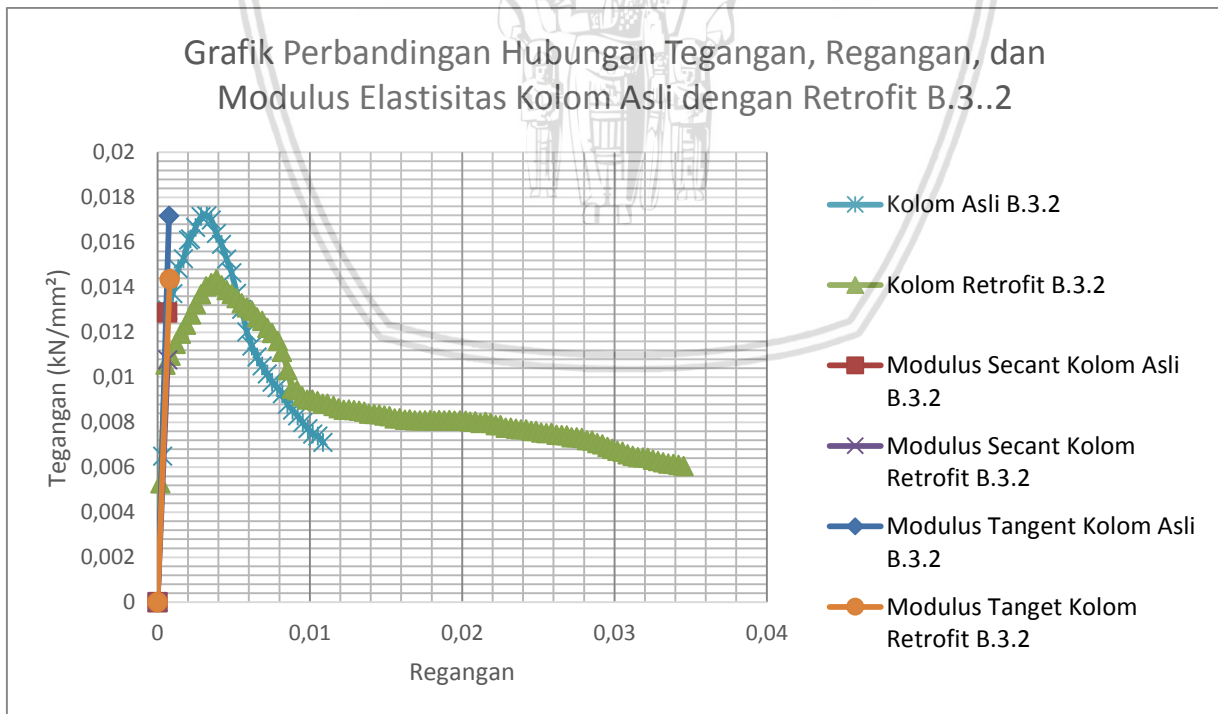
No	Defleksi (mm)	Regangan	B.3.1		B.3.2		B.3.3		RATA - RATA
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN/mm2
1	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,0600	0,0002	72,1500	0,0022	171,0000	0,0053	175,1500	0,0054	0,0043
3	0,1600	0,0005	144,3000	0,0045	342,0000	0,0106	350,3000	0,0108	0,0086
4	0,2600	0,0009	152,9000	0,0047	354,9000	0,0110	365,7000	0,0113	0,0090
5	0,3600	0,0012	162,1000	0,0050	371,9000	0,0115	369,3000	0,0114	0,0093
6	0,4600	0,0015	167,2000	0,0052	387,0000	0,0119	375,4000	0,0116	0,0096
7	0,5600	0,0019	170,5000	0,0053	399,9000	0,0123	385,4000	0,0119	0,0098
8	0,6600	0,0022	168,5000	0,0052	414,4000	0,0128	392,6000	0,0121	0,0100
9	0,7600	0,0025	172,3000	0,0053	429,3000	0,0133	398,8000	0,0123	0,0103
10	0,8600	0,0029	177,0000	0,0055	443,7000	0,0137	404,9000	0,0125	0,0106
11	0,9600	0,0032	180,6000	0,0056	455,0000	0,0140	413,4000	0,0128	0,0108
12	1,0600	0,0035	181,1000	0,0056	459,8000	0,0142	419,1000	0,0129	0,0109
13	1,1600	0,0039	182,7000	0,0056	465,2000	0,0144	423,9000	0,0131	0,0110
14	1,2600	0,0042	182,9000	0,0056	456,6000	0,0141	431,7000	0,0133	0,0110
15	1,3600	0,0045	184,2000	0,0057	449,6000	0,0139	440,0000	0,0136	0,0110
16	1,4600	0,0049	184,4000	0,0057	444,1000	0,0137	451,7000	0,0139	0,0111
17	1,5600	0,0052	185,4000	0,0057	438,0000	0,0135	460,3000	0,0142	0,0111
18	1,6600	0,0055	184,4000	0,0057	430,7000	0,0133	466,0000	0,0144	0,0111
19	1,7600	0,0059	183,7000	0,0057	424,6000	0,0131	473,4000	0,0146	0,0111
20	1,8600	0,0062	184,4000	0,0057	420,1000	0,0130	477,3000	0,0147	0,0111
21	1,9600	0,0065	180,9000	0,0056	410,3000	0,0127	470,7000	0,0145	0,0109
22	2,0600	0,0069	181,5000	0,0056	405,4000	0,0125	447,1000	0,0138	0,0106
23	2,1600	0,0072	179,8000	0,0055	395,2000	0,0122	449,1000	0,0139	0,0105
24	2,2600	0,0075	176,3000	0,0054	387,8000	0,0120	449,6000	0,0139	0,0104
25	2,3700	0,0079	174,8000	0,0054	376,0000	0,0116	443,0000	0,0137	0,0102
26	2,4500	0,0082	174,2000	0,0054	360,6000	0,0111	437,8000	0,0135	0,0100
27	2,5600	0,0085	176,9000	0,0055	334,2000	0,0103	429,2000	0,0132	0,0097
28	2,6500	0,0088	176,9000	0,0055	307,6000	0,0095	424,4000	0,0131	0,0094
29	2,7500	0,0092	179,4000	0,0055	305,2000	0,0094	419,9000	0,0130	0,0093
30	2,8500	0,0095	178,0000	0,0055	296,6000	0,0092	410,2000	0,0127	0,0091
31	2,9500	0,0098	178,9000	0,0055	291,9000	0,0090	401,4000	0,0124	0,0090
32	3,0500	0,0102	179,8000	0,0055	291,7000	0,0090	394,2000	0,0122	0,0089
33	3,1500	0,0105	182,9000	0,0056	289,4000	0,0089	390,9000	0,0121	0,0089
34	3,2500	0,0108	183,4000	0,0057	286,1000	0,0088	389,4000	0,0120	0,0088
35	3,3500	0,0112	186,5000	0,0058	285,7000	0,0088	389,3000	0,0120	0,0089

No	Defleksi (mm)	Regangan	B.3.1		B.3.2		B.3.3		RATA - RATA
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN/mm ²
36	3,4700	0,0116	187,0000	0,0058	282,6000	0,0087	383,6000	0,0118	0,0088
37	3,5700	0,0119	189,6000	0,0059	279,5000	0,0086	382,3000	0,0118	0,0088
38	3,6700	0,0122	190,5000	0,0059	277,1000	0,0086	375,1000	0,0116	0,0087
39	3,7700	0,0126	191,0000	0,0059	277,6000	0,0086	374,6000	0,0116	0,0087
40	3,8700	0,0129	190,4000	0,0059	276,8000	0,0085	370,1000	0,0114	0,0086
41	3,9700	0,0132	192,5000	0,0059	275,8000	0,0085	368,6000	0,0114	0,0086
42	4,0700	0,0136	194,2000	0,0060	274,3000	0,0085	365,3000	0,0113	0,0086
43	4,1700	0,0139	195,2000	0,0060	271,7000	0,0084	362,0000	0,0112	0,0085
44	4,2700	0,0142	195,1000	0,0060	270,9000	0,0084	358,5000	0,0111	0,0085
45	4,3700	0,0146	194,2000	0,0060	270,5000	0,0083	352,9000	0,0109	0,0084
46	4,4700	0,0149	194,7000	0,0060	268,7000	0,0083	350,2000	0,0108	0,0084
47	4,5700	0,0152	194,3000	0,0060	267,7000	0,0083	344,4000	0,0106	0,0083
48	4,6700	0,0156	195,2000	0,0060	264,8000	0,0082	335,3000	0,0103	0,0082
49	4,7700	0,0159	195,8000	0,0060	265,3000	0,0082	331,7000	0,0102	0,0082
50	4,8700	0,0162	195,9000	0,0060	263,0000	0,0081	283,1000	0,0087	0,0076
51	4,9700	0,0166	197,1000	0,0061	263,4000	0,0081	276,5000	0,0085	0,0076
52	5,0700	0,0169	196,0000	0,0060	261,7000	0,0081	272,7000	0,0084	0,0075
53	5,1700	0,0172	195,3000	0,0060	261,7000	0,0081	268,7000	0,0083	0,0075
54	5,2700	0,0176	195,7000	0,0060	261,7000	0,0081	265,7000	0,0082	0,0074
55	5,3700	0,0179	195,6000	0,0060	262,2000	0,0081	262,5000	0,0081	0,0074
56	5,4500	0,0182	196,8000	0,0061	261,4000	0,0081	259,0000	0,0080	0,0074
57	5,5500	0,0185	195,9000	0,0060	262,4000	0,0081	258,1000	0,0080	0,0074
58	5,6500	0,0188	197,0000	0,0061	261,8000	0,0081	254,6000	0,0079	0,0073
59	5,7500	0,0192	196,8000	0,0061	262,4000	0,0081	251,5000	0,0078	0,0073
60	5,8500	0,0195	198,0000	0,0061	261,6000	0,0081	247,8000	0,0076	0,0073
61	5,9600	0,0199	197,5000	0,0061	261,7000	0,0081	243,9000	0,0075	0,0072
62	6,0700	0,0202	198,7000	0,0061	261,4000	0,0081	239,4000	0,0074	0,0072
63	6,1600	0,0205	197,8000	0,0061	259,9000	0,0080	234,7000	0,0072	0,0071
64	6,2600	0,0209	198,0000	0,0061	260,6000	0,0080	230,0000	0,0071	0,0071
65	6,3600	0,0212	197,4000	0,0061	258,3000	0,0080	220,3000	0,0068	0,0070
66	6,4600	0,0215	198,5000	0,0061	259,6000	0,0080	215,3000	0,0066	0,0069
67	6,5600	0,0219	198,0000	0,0061	258,1000	0,0080	209,6000	0,0065	0,0068
68	6,6600	0,0222	197,6000	0,0061	255,2000	0,0079	203,4000	0,0063	0,0068
69	6,7600	0,0225	197,7000	0,0061	255,0000	0,0079	198,6000	0,0061	0,0067
70	6,8600	0,0229	195,0000	0,0060	251,5000	0,0078	193,2000	0,0060	0,0066

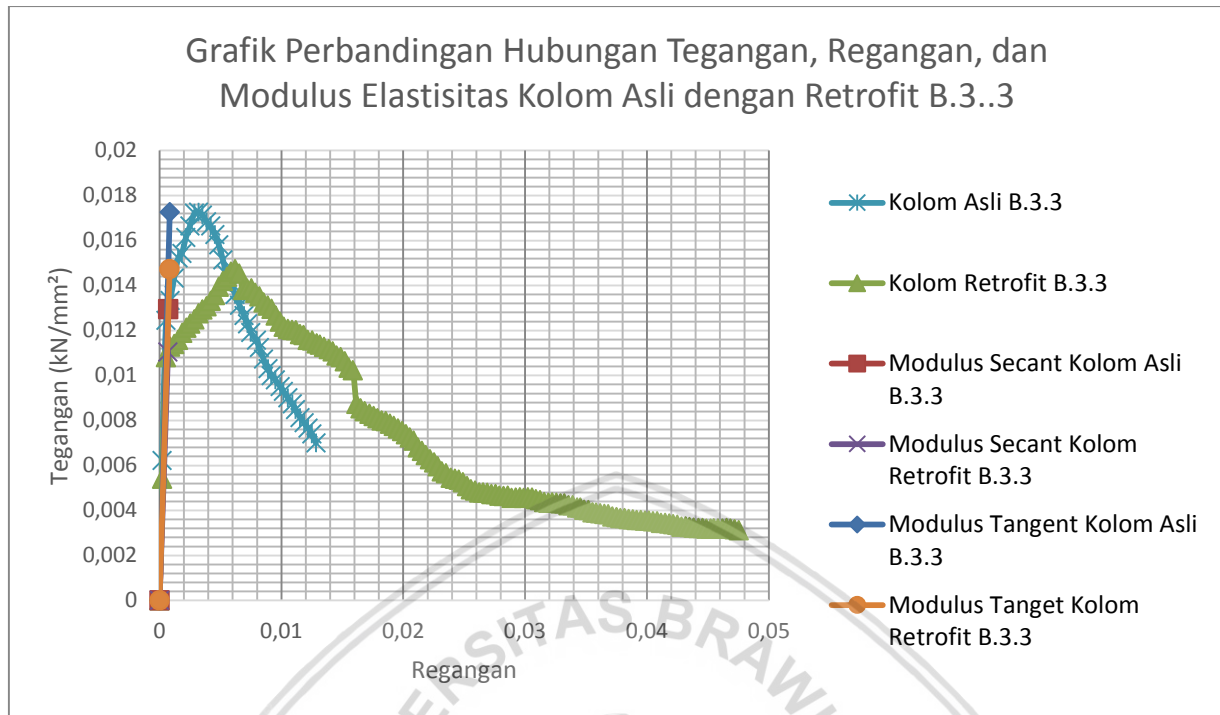
No	Defleksi (mm)	Regangan	B.3.1		B.3.2		B.3.3		RATA - RATA
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN/mm2
71	6,9600	0,0232	195,5000	0,0060	251,1000	0,0078	185,7000	0,0057	0,0065
72	7,0600	0,0235	195,0000	0,0060	249,8000	0,0077	183,2000	0,0057	0,0065
73	7,1600	0,0239	194,9000	0,0060	248,8000	0,0077	176,7000	0,0055	0,0064
74	7,2600	0,0242	195,5000	0,0060	248,8000	0,0077	175,1000	0,0054	0,0064
75	7,3600	0,0245	195,3000	0,0060	246,5000	0,0076	174,0000	0,0054	0,0063
76	7,4600	0,0249	195,1000	0,0060	246,9000	0,0076	170,0000	0,0052	0,0063
77	7,5600	0,0252	193,7000	0,0060	244,2000	0,0075	164,6000	0,0051	0,0062
78	7,6600	0,0255	192,3000	0,0059	243,6000	0,0075	160,2000	0,0049	0,0061
79	7,7600	0,0259	190,6000	0,0059	244,1000	0,0075	158,3000	0,0049	0,0061
80	7,8600	0,0262	191,5000	0,0059	241,2000	0,0074	155,4000	0,0048	0,0061
81	7,9600	0,0265	190,9000	0,0059	240,9000	0,0074	155,3000	0,0048	0,0060
82	8,0600	0,0269	191,5000	0,0059	240,3000	0,0074	155,0000	0,0048	0,0060
83	8,1600	0,0272	192,0000	0,0059	237,5000	0,0073	153,3000	0,0047	0,0060
84	8,2600	0,0275	191,4000	0,0059	237,5000	0,0073	153,0000	0,0047	0,0060
85	8,3600	0,0279	191,5000	0,0059	236,7000	0,0073	151,0000	0,0047	0,0060
86	8,4600	0,0282	190,5000	0,0059	233,3000	0,0072	150,4000	0,0046	0,0059
87	8,5600	0,0285	190,7000	0,0059	233,0000	0,0072	150,7000	0,0047	0,0059
88	8,6600	0,0289	190,4000	0,0059	229,0000	0,0071	147,7000	0,0046	0,0058
89	8,7600	0,0292	190,4000	0,0059	227,2000	0,0070	148,0000	0,0046	0,0058
90	8,8600	0,0295	189,7000	0,0059	223,7000	0,0069	148,4000	0,0046	0,0058
91	8,9600	0,0299	191,3000	0,0059	221,0000	0,0068	147,6000	0,0046	0,0058
92	9,0600	0,0302	191,0000	0,0059	218,3000	0,0067	148,4000	0,0046	0,0057
93	9,1600	0,0305	191,6000	0,0059	216,8000	0,0067	148,0000	0,0046	0,0057
94	9,2600	0,0309	191,0000	0,0059	213,1000	0,0066	146,0000	0,0045	0,0057
95	9,3600	0,0312	192,0000	0,0059	210,8000	0,0065	144,2000	0,0045	0,0056
96	9,4600	0,0315	191,6000	0,0059	209,0000	0,0065	141,6000	0,0044	0,0056
97	9,5600	0,0319	194,2000	0,0060	208,3000	0,0064	140,8000	0,0043	0,0056
98	9,6600	0,0322	194,0000	0,0060	208,1000	0,0064	141,1000	0,0044	0,0056
99	9,7600	0,0325	195,1000	0,0060	205,2000	0,0063	140,8000	0,0043	0,0056
100	9,8600	0,0329	195,2000	0,0060	203,5000	0,0063	139,7000	0,0043	0,0055
101	9,9600	0,0332	196,6000	0,0061	201,7000	0,0062	139,7000	0,0043	0,0055
102	10,0600	0,0335	196,1000	0,0061	199,8000	0,0062	136,9000	0,0042	0,0055
103	10,1600	0,0339	196,7000	0,0061	199,0000	0,0061	136,9000	0,0042	0,0055
104	10,2600	0,0342	195,4000	0,0060	197,9000	0,0061	134,0000	0,0041	0,0054
105	10,3600	0,0345	195,1000	0,0060	196,0000	0,0060	133,9000	0,0041	0,0054



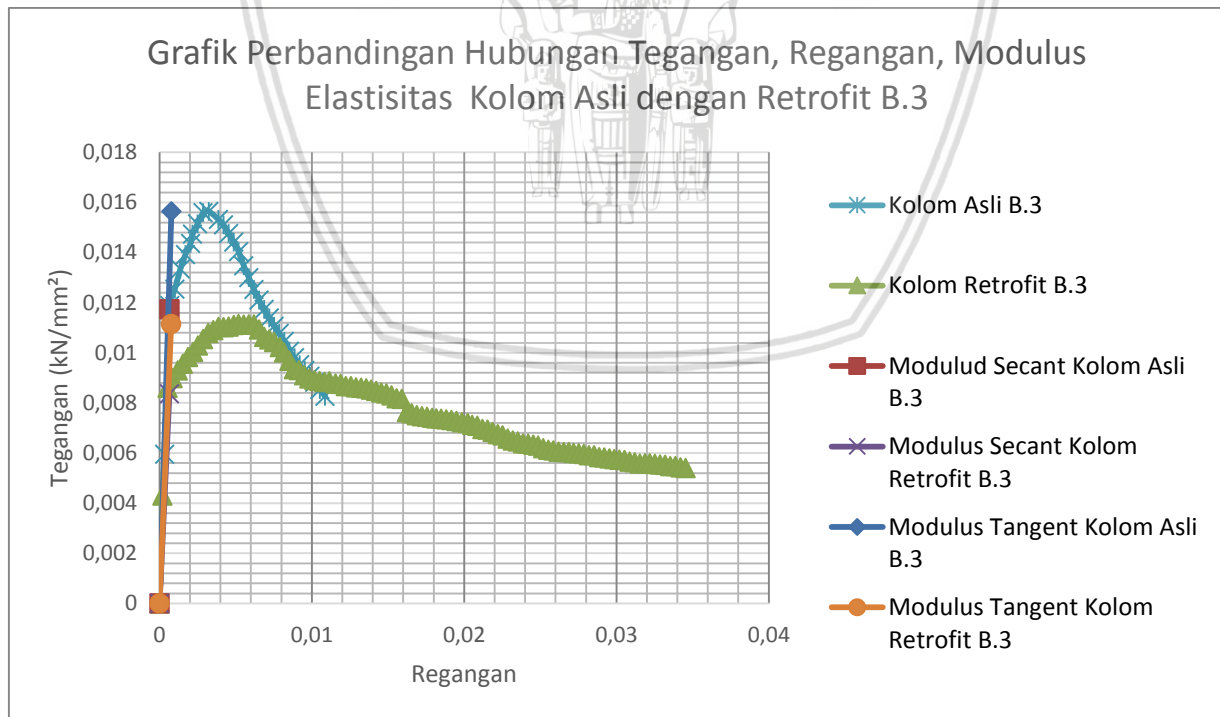
Gambar 4.3114 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli B.3.1 dengan kolom retrofit B.3.1



Gambar 4.32 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli B.3.2 dengan kolom retrofit B.3.2



Gambar 4.33 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli B.3.3 dengan kolom retrofit B.3.3



Gambar 4.34 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli B.3 dengan kolom retrofit B.3

Dari data penelitian didapatkan nilai modulus elastisitas yaitu kolom asli B.3 memiliki nilai modulus elastisitas sebesar $17,8403 \text{ kN/mm}^2$ dan kolom retrofit B.3 memiliki modulus elastisitas sebesar $12,9105 \text{ kN/mm}^2$. Disimpulkan bahwa, kolom asli B.3 memiliki nilai modulus elastisitas lebih tinggi daripada kolom retrofit B.3. Besar penurunan modulus elastisitas kolom asli B.3 sebesar 27,63 % dari kolom retrofit B.3.



4.6.3.3 Kolom Asli C.3 dengan Kolom Retrofit C.3

Tabel 4.24 Tabel data rata –rata hasil tegangan regangan kolom asli C.3

No	Defleksi (mm)	Regangan	C.3.1		C.3.2		C.3.3		RATA - RATA
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN/mm2
1	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,1	0,0003	92,1000	0,0064	90,4000	0,0063	82,0000	0,0057	0,0061
3	0,2	0,0005	184,2000	0,0128	180,8000	0,0126	164,0000	0,0114	0,0122
4	0,3	0,0009	208,9000	0,0145	194,1000	0,0135	175,5000	0,0122	0,0134
5	0,4	0,0012	216,0000	0,0150	205,1000	0,0142	185,1000	0,0129	0,0140
6	0,5	0,0016	238,4000	0,0166	218,5000	0,0152	195,1000	0,0135	0,0151
7	0,6	0,0018	250,2000	0,0174	227,3000	0,0158	201,9000	0,0140	0,0157
8	0,7	0,0022	255,8000	0,0178	234,4000	0,0163	209,3000	0,0145	0,0162
9	0,8	0,0025	255,8000	0,0178	242,7000	0,0169	214,4000	0,0149	0,0165
10	0,9	0,0029	250,6000	0,0174	245,9000	0,0171	218,9000	0,0152	0,0166
11	1,0	0,0032	239,9000	0,0167	246,8000	0,0171	221,9000	0,0154	0,0164
12	1,1	0,0036	224,9000	0,0156	246,4000	0,0171	223,7000	0,0155	0,0161
13	1,2	0,0038	222,6000	0,0155	246,1000	0,0171	224,8000	0,0156	0,0161
14	1,3	0,0042	212,0000	0,0147	241,2000	0,0168	226,1000	0,0157	0,0157
15	1,4	0,0045	207,5000	0,0144	235,8000	0,0164	227,5000	0,0158	0,0155
16	1,5	0,0049	203,0000	0,0141	234,7000	0,0163	226,2000	0,0157	0,0154
17	1,6	0,0052	199,5000	0,0139	226,2000	0,0157	219,8000	0,0153	0,0149
18	1,7	0,0056	194,1000	0,0135	220,3000	0,0153	214,6000	0,0149	0,0146
19	1,8	0,0059	187,7000	0,0130	212,0000	0,0147	206,9000	0,0144	0,0140
20	1,9	0,0063	175,8000	0,0122	205,7000	0,0143	200,2000	0,0139	0,0135
21	2,0	0,0065	171,2000	0,0119	196,3000	0,0136	199,6000	0,0139	0,0131
22	2,1	0,0069	166,9000	0,0116	187,8000	0,0130	188,1000	0,0131	0,0126
23	2,3	0,0076	155,4000	0,0108	174,6000	0,0121	164,1000	0,0114	0,0114
24	2,4	0,0079	148,4000	0,0103	166,6000	0,0116	158,5000	0,0110	0,0110
25	2,5	0,0083	141,1000	0,0098	160,2000	0,0111	148,4000	0,0103	0,0104
26	2,6	0,0085	135,4000	0,0094	153,5000	0,0107	145,0000	0,0101	0,0100
27	2,7	0,0089	126,9000	0,0088	148,8000	0,0103	144,2000	0,0100	0,0097
28	2,8	0,0092	124,9000	0,0087	142,2000	0,0099	141,5000	0,0098	0,0095
29	2,9	0,0096	116,0000	0,0081	136,2000	0,0095	140,0000	0,0097	0,0091
30	3,0	0,0099	114,0000	0,0079	130,4000	0,0091	138,9000	0,0096	0,0089
31	3,1	0,0103	108,9000	0,0076	126,6000	0,0088	135,0000	0,0094	0,0086
32	3,2	0,0105	108,0000	0,0075	125,2000	0,0087	129,4000	0,0090	0,0084
33	3,3	0,0109	102,7000	0,0071	119,6000	0,0083	126,8000	0,0088	0,0081

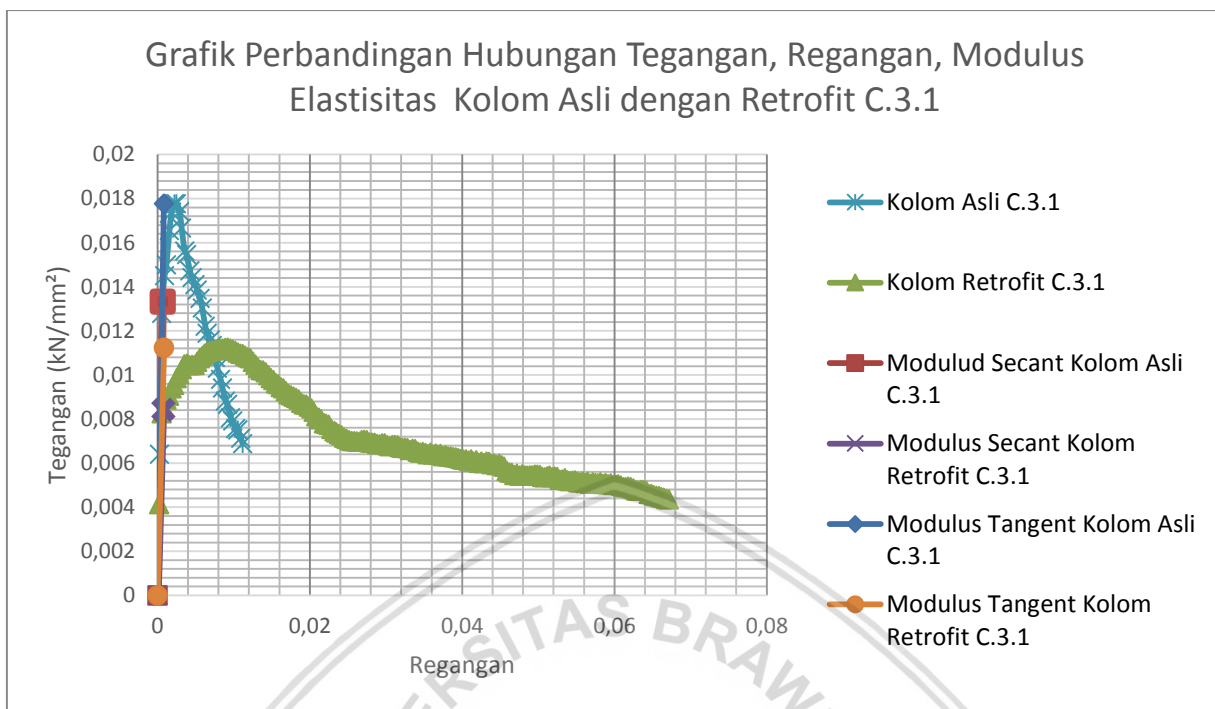
Tabel 4.25 Tabel data rata –rata hasil tegangan regangan kolom retrofit C.3

No	Defleksi (mm)	Regangan	C.3.1		C.3.2		C.3.3		RATA - RATA
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN/mm2
1	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,0600	0,0002	133,9000	0,0041	84,0500	0,0026	108,0500	0,0033	0,0034
3	0,1600	0,0005	267,8000	0,0083	168,1000	0,0052	216,1000	0,0067	0,0067
4	0,2600	0,0009	275,1000	0,0085	174,4000	0,0054	228,5000	0,0071	0,0070
5	0,3500	0,0012	287,7000	0,0089	181,1000	0,0056	236,6000	0,0073	0,0073
6	0,4500	0,0015	293,6000	0,0091	183,2000	0,0057	245,8000	0,0076	0,0074
7	0,5500	0,0018	304,5000	0,0094	186,5000	0,0058	250,2000	0,0077	0,0076
8	0,6500	0,0022	309,5000	0,0096	188,9000	0,0058	258,7000	0,0080	0,0078
9	0,7500	0,0025	319,4000	0,0099	189,9000	0,0059	264,7000	0,0082	0,0080
10	0,8500	0,0028	325,2000	0,0100	192,1000	0,0059	272,9000	0,0084	0,0081
11	0,9500	0,0032	332,4000	0,0103	193,8000	0,0060	278,2000	0,0086	0,0083
12	1,0600	0,0035	339,4000	0,0105	196,5000	0,0061	283,1000	0,0087	0,0084
13	1,1600	0,0039	340,4000	0,0105	197,5000	0,0061	288,5000	0,0089	0,0085
14	1,2600	0,0042	338,0000	0,0104	197,1000	0,0061	288,7000	0,0089	0,0085
15	1,3600	0,0045	338,6000	0,0105	202,2000	0,0062	290,9000	0,0090	0,0086
16	1,4600	0,0049	338,7000	0,0105	204,3000	0,0063	291,5000	0,0090	0,0086
17	1,5600	0,0052	343,4000	0,0106	205,8000	0,0064	293,2000	0,0090	0,0087
18	1,6600	0,0055	348,5000	0,0108	210,6000	0,0065	289,5000	0,0089	0,0087
19	1,7700	0,0059	351,6000	0,0109	212,5000	0,0066	263,4000	0,0081	0,0085
20	1,8500	0,0062	355,1000	0,0110	214,6000	0,0066	258,8000	0,0080	0,0085
21	1,9500	0,0065	357,4000	0,0110	220,9000	0,0068	254,9000	0,0079	0,0086
22	2,0500	0,0068	359,2000	0,0111	221,0000	0,0068	254,1000	0,0078	0,0086
23	2,1500	0,0072	359,6000	0,0111	224,4000	0,0069	253,6000	0,0078	0,0086
24	2,2500	0,0075	360,5000	0,0111	224,3000	0,0069	252,0000	0,0078	0,0086
25	2,3500	0,0078	361,6000	0,0112	225,0000	0,0069	252,3000	0,0078	0,0086
26	2,4500	0,0082	361,8000	0,0112	227,5000	0,0070	254,8000	0,0079	0,0087
27	2,5500	0,0085	362,7000	0,0112	220,6000	0,0068	256,3000	0,0079	0,0086
28	2,6500	0,0088	363,8000	0,0112	219,9000	0,0068	256,0000	0,0079	0,0086
29	2,7500	0,0092	364,2000	0,0112	221,8000	0,0068	252,9000	0,0078	0,0086
30	2,8500	0,0095	362,7000	0,0112	219,7000	0,0068	257,4000	0,0079	0,0086
31	2,9500	0,0098	361,3000	0,0112	219,6000	0,0068	260,8000	0,0080	0,0087
32	3,0500	0,0102	359,2000	0,0111	222,2000	0,0069	260,8000	0,0080	0,0087
33	3,1700	0,0106	357,2000	0,0110	222,6000	0,0069	266,5000	0,0082	0,0087
34	3,2700	0,0109	355,0000	0,0110	220,0000	0,0068	269,1000	0,0083	0,0087
35	3,3700	0,0112	354,8000	0,0110	219,6000	0,0068	273,1000	0,0084	0,0087

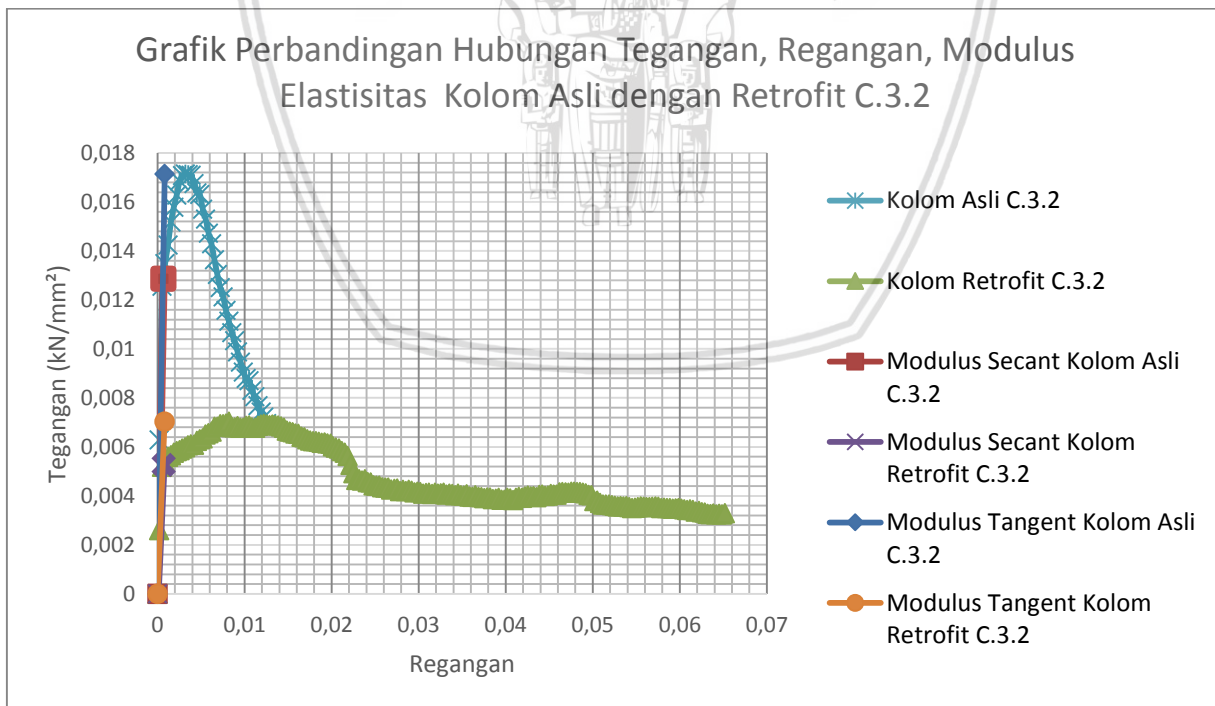
No	Defleksi (mm)	Regangan	C.3.1		C.3.2		C.3.3		RATA - RATA	
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan	
			kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN/mm ²	
36	3,4700	0,0116	352,1000	0,0109	222,3000	0,0069	275,9000	0,0085	0,0087	
37	3,5700	0,0119	349,9000	0,0108	223,9000	0,0069	278,9000	0,0086	0,0088	
38	3,6700	0,0122	348,5000	0,0108	224,6000	0,0069	280,7000	0,0087	0,0088	
39	3,7700	0,0126	343,5000	0,0106	224,0000	0,0069	281,9000	0,0087	0,0087	
40	3,8700	0,0129	339,0000	0,0105	223,1000	0,0069	283,5000	0,0088	0,0087	
41	3,9700	0,0132	334,2000	0,0103	223,8000	0,0069	282,3000	0,0087	0,0086	
42	4,0700	0,0136	331,2000	0,0102	223,0000	0,0069	279,2000	0,0086	0,0086	
43	4,1700	0,0139	330,7000	0,0102	222,6000	0,0069	268,1000	0,0083	0,0085	
44	4,2700	0,0142	327,6000	0,0101	221,1000	0,0068	265,1000	0,0082	0,0084	
45	4,3700	0,0146	323,6000	0,0100	219,6000	0,0068	261,6000	0,0081	0,0083	
46	4,4700	0,0149	319,6000	0,0099	215,6000	0,0067	261,3000	0,0081	0,0082	
47	4,5700	0,0152	316,7000	0,0098	214,5000	0,0066	257,8000	0,0080	0,0081	
48	4,6700	0,0156	311,9000	0,0096	213,8000	0,0066	255,9000	0,0079	0,0080	
49	4,7700	0,0159	310,3000	0,0096	212,2000	0,0065	258,2000	0,0080	0,0080	
50	4,8700	0,0162	306,4000	0,0095	211,6000	0,0065	256,7000	0,0079	0,0080	
51	4,9700	0,0166	304,1000	0,0094	207,6000	0,0064	257,6000	0,0080	0,0079	
52	5,0700	0,0169	300,2000	0,0093	207,0000	0,0064	259,5000	0,0080	0,0079	
53	5,1700	0,0172	295,8000	0,0091	204,3000	0,0063	260,1000	0,0080	0,0078	
54	5,2700	0,0176	294,0000	0,0091	202,7000	0,0063	261,4000	0,0081	0,0078	
55	5,3700	0,0179	291,9000	0,0090	201,8000	0,0062	259,3000	0,0080	0,0077	
56	5,4700	0,0182	290,2000	0,0090	201,9000	0,0062	262,9000	0,0081	0,0078	
57	5,5700	0,0186	287,9000	0,0089	201,0000	0,0062	263,1000	0,0081	0,0077	
58	5,6700	0,0189	283,2000	0,0087	199,9000	0,0062	261,3000	0,0081	0,0077	
59	5,7700	0,0192	280,8000	0,0087	200,0000	0,0062	263,9000	0,0081	0,0077	
60	5,8700	0,0196	280,5000	0,0087	198,7000	0,0061	260,3000	0,0080	0,0076	
61	5,9700	0,0199	277,5000	0,0086	198,6000	0,0061	258,8000	0,0080	0,0076	
62	6,0700	0,0202	274,8000	0,0085	195,1000	0,0060	259,0000	0,0080	0,0075	
63	6,1700	0,0206	270,2000	0,0083	193,2000	0,0060	260,1000	0,0080	0,0074	
64	6,2700	0,0209	263,6000	0,0081	192,1000	0,0059	256,9000	0,0079	0,0073	
65	6,3700	0,0212	261,2000	0,0081	188,8000	0,0058	253,7000	0,0078	0,0072	
66	6,4700	0,0216	258,7000	0,0080	186,4000	0,0058	251,6000	0,0078	0,0072	
67	6,5700	0,0219	253,1000	0,0078	182,3000	0,0056	248,0000	0,0077	0,0070	
68	6,6700	0,0222	251,9000	0,0078	170,5000	0,0053	247,3000	0,0076	0,0069	
69	6,7700	0,0226	250,9000	0,0077	159,4000	0,0049	242,3000	0,0075	0,0067	
70	6,8700	0,0229	244,4000	0,0075	150,7000	0,0047	240,1000	0,0074	0,0065	

No	Defleksi (mm)	Regangan	C.3.1		C.3.2		C.3.3		RATA - RATA
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN/mm ²
71	6,9700	0,0232	241,3000	0,0074	151,5000	0,0047	235,4000	0,0073	0,0065
72	7,0700	0,0236	239,5000	0,0074	149,7000	0,0046	234,8000	0,0072	0,0064
73	7,1700	0,0239	236,9000	0,0073	151,4000	0,0047	231,1000	0,0071	0,0064
74	7,2700	0,0242	235,4000	0,0073	147,5000	0,0046	227,4000	0,0070	0,0063
75	7,3700	0,0246	231,8000	0,0072	147,2000	0,0045	223,8000	0,0069	0,0062
76	7,4700	0,0249	230,1000	0,0071	143,6000	0,0044	219,4000	0,0068	0,0061
77	7,5700	0,0252	228,1000	0,0070	142,8000	0,0044	219,7000	0,0068	0,0061
78	7,6700	0,0256	226,9000	0,0070	143,2000	0,0044	215,5000	0,0067	0,0060
79	7,7700	0,0259	226,8000	0,0070	140,8000	0,0043	212,3000	0,0066	0,0060
80	7,8700	0,0262	226,1000	0,0070	140,5000	0,0043	212,4000	0,0066	0,0060
81	7,9700	0,0266	225,6000	0,0070	140,6000	0,0043	208,2000	0,0064	0,0059
82	8,0700	0,0269	228,2000	0,0070	137,7000	0,0043	206,1000	0,0064	0,0059
83	8,1700	0,0272	228,4000	0,0070	138,8000	0,0043	206,0000	0,0064	0,0059
84	8,2700	0,0276	228,0000	0,0070	139,1000	0,0043	203,2000	0,0063	0,0059
85	8,3700	0,0279	224,8000	0,0069	136,0000	0,0042	203,0000	0,0063	0,0058
86	8,4700	0,0282	224,2000	0,0069	137,6000	0,0042	200,6000	0,0062	0,0058
87	8,5700	0,0286	224,3000	0,0069	135,6000	0,0042	199,5000	0,0062	0,0058
88	8,6700	0,0289	222,6000	0,0069	137,4000	0,0042	200,6000	0,0062	0,0058
89	8,7600	0,0292	222,2000	0,0069	136,2000	0,0042	197,2000	0,0061	0,0057
90	8,8600	0,0295	223,2000	0,0069	134,2000	0,0041	195,8000	0,0060	0,0057
91	8,9600	0,0299	223,2000	0,0069	135,1000	0,0042	196,3000	0,0061	0,0057
92	9,0600	0,0302	220,4000	0,0068	134,7000	0,0042	192,9000	0,0060	0,0056
93	9,1600	0,0305	219,4000	0,0068	132,6000	0,0041	192,4000	0,0059	0,0056
94	9,2600	0,0309	220,9000	0,0068	133,4000	0,0041	191,9000	0,0059	0,0056
95	9,3600	0,0312	221,0000	0,0068	133,8000	0,0041	187,3000	0,0058	0,0056
96	9,4600	0,0315	220,7000	0,0068	132,1000	0,0041	184,8000	0,0057	0,0055
97	9,5600	0,0319	218,0000	0,0067	133,6000	0,0041	182,0000	0,0056	0,0055
98	9,6600	0,0322	216,6000	0,0067	132,2000	0,0041	180,9000	0,0056	0,0054
99	9,7600	0,0325	216,8000	0,0067	132,8000	0,0041	179,9000	0,0056	0,0054
100	9,8600	0,0329	216,3000	0,0067	133,7000	0,0041	176,2000	0,0054	0,0054
101	9,9600	0,0332	213,5000	0,0066	131,0000	0,0040	175,2000	0,0054	0,0053
102	10,0600	0,0335	215,6000	0,0067	132,6000	0,0041	173,5000	0,0054	0,0054
103	10,1600	0,0339	215,1000	0,0066	131,8000	0,0041	172,8000	0,0053	0,0053
104	10,2600	0,0342	211,3000	0,0065	130,1000	0,0040	171,7000	0,0053	0,0053
105	10,3600	0,0345	209,8000	0,0065	132,2000	0,0041	171,2000	0,0053	0,0053

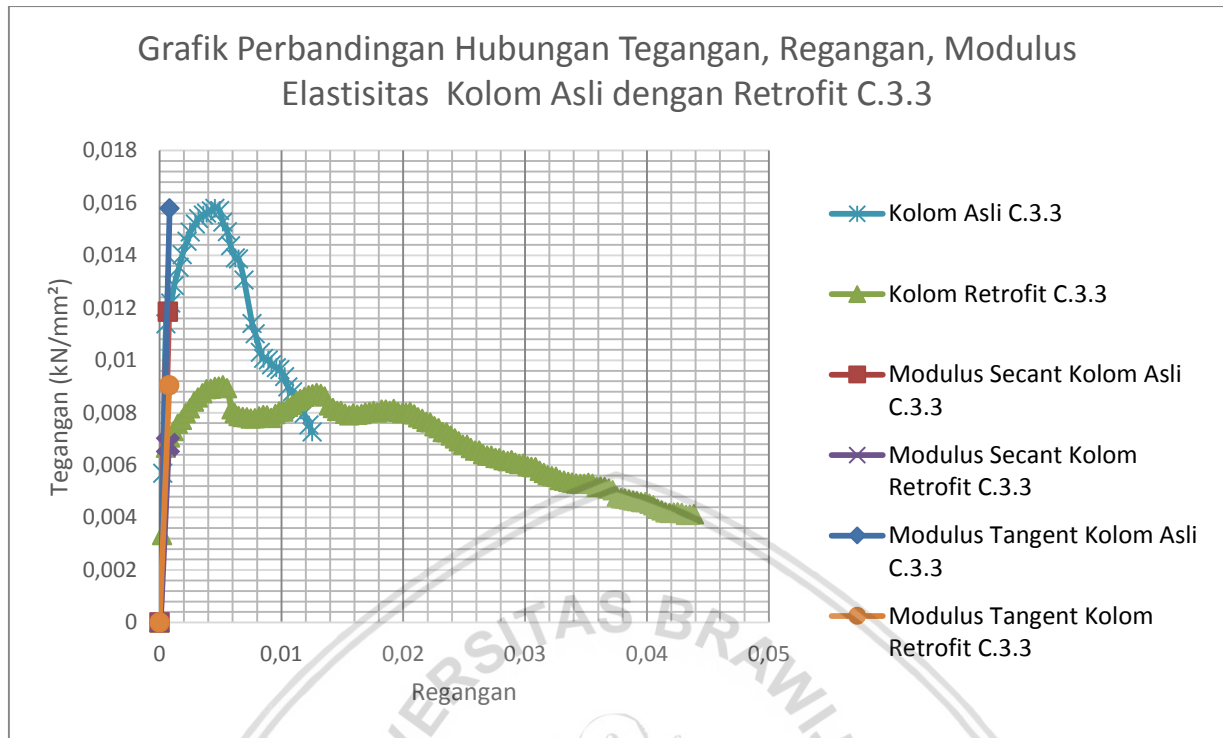
No	Defleksi (mm)	Regangan	C.3.1		C.3.2		C.3.3		RATA - RATA
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN/mm ²
106	10,4600	0,0349	210,9000	0,0065	130,2000	0,0040	171,2000	0,0053	0,0053
107	10,5600	0,0352	209,2000	0,0065	129,7000	0,0040	172,5000	0,0053	0,0053
108	10,6600	0,0355	207,2000	0,0064	131,4000	0,0041	171,4000	0,0053	0,0052
109	10,7600	0,0359	209,7000	0,0065	128,7000	0,0040	167,7000	0,0052	0,0052
110	10,8600	0,0362	207,0000	0,0064	128,3000	0,0040	168,0000	0,0052	0,0052
111	10,9600	0,0365	208,5000	0,0064	130,2000	0,0040	167,5000	0,0052	0,0052
112	11,0600	0,0369	206,4000	0,0064	128,3000	0,0040	165,2000	0,0051	0,0051
113	11,1600	0,0372	207,7000	0,0064	127,7000	0,0039	163,4000	0,0050	0,0051
114	11,2600	0,0375	204,8000	0,0063	126,3000	0,0039	155,4000	0,0048	0,0050
115	11,3600	0,0379	205,9000	0,0064	127,2000	0,0039	153,5000	0,0047	0,0050
116	11,4600	0,0382	204,3000	0,0063	127,5000	0,0039	152,9000	0,0047	0,0050
117	11,5600	0,0385	204,3000	0,0063	125,4000	0,0039	151,7000	0,0047	0,0050
118	11,6600	0,0389	203,2000	0,0063	125,5000	0,0039	150,7000	0,0047	0,0049
119	11,7600	0,0392	202,6000	0,0063	126,8000	0,0039	149,9000	0,0046	0,0049
120	11,8600	0,0395	201,7000	0,0062	124,5000	0,0038	148,8000	0,0046	0,0049
121	11,9600	0,0399	200,2000	0,0062	124,5000	0,0038	148,7000	0,0046	0,0049
122	12,0600	0,0402	199,3000	0,0062	126,7000	0,0039	146,8000	0,0045	0,0049
123	12,1600	0,0405	199,9000	0,0062	126,0000	0,0039	144,7000	0,0045	0,0048
124	12,2600	0,0409	198,2000	0,0061	123,8000	0,0038	140,4000	0,0043	0,0048
125	12,3600	0,0412	200,1000	0,0062	126,7000	0,0039	138,4000	0,0043	0,0048
126	12,4600	0,0415	196,4000	0,0061	128,3000	0,0040	135,9000	0,0042	0,0047
127	12,5600	0,0419	198,7000	0,0061	127,0000	0,0039	135,4000	0,0042	0,0047
128	12,6600	0,0422	194,5000	0,0060	128,7000	0,0040	135,8000	0,0042	0,0047
129	12,7600	0,0425	196,7000	0,0061	129,7000	0,0040	136,1000	0,0042	0,0048
130	12,8600	0,0429	194,2000	0,0060	128,6000	0,0040	135,3000	0,0042	0,0047
131	12,9600	0,0432	196,4000	0,0061	129,1000	0,0040	133,0000	0,0041	0,0047
132	13,0600	0,0435	196,3000	0,0061	127,8000	0,0039	132,8000	0,0041	0,0047
133	13,1600	0,0439	193,0000	0,0060	130,7000	0,0040	133,5000	0,0041	0,0047



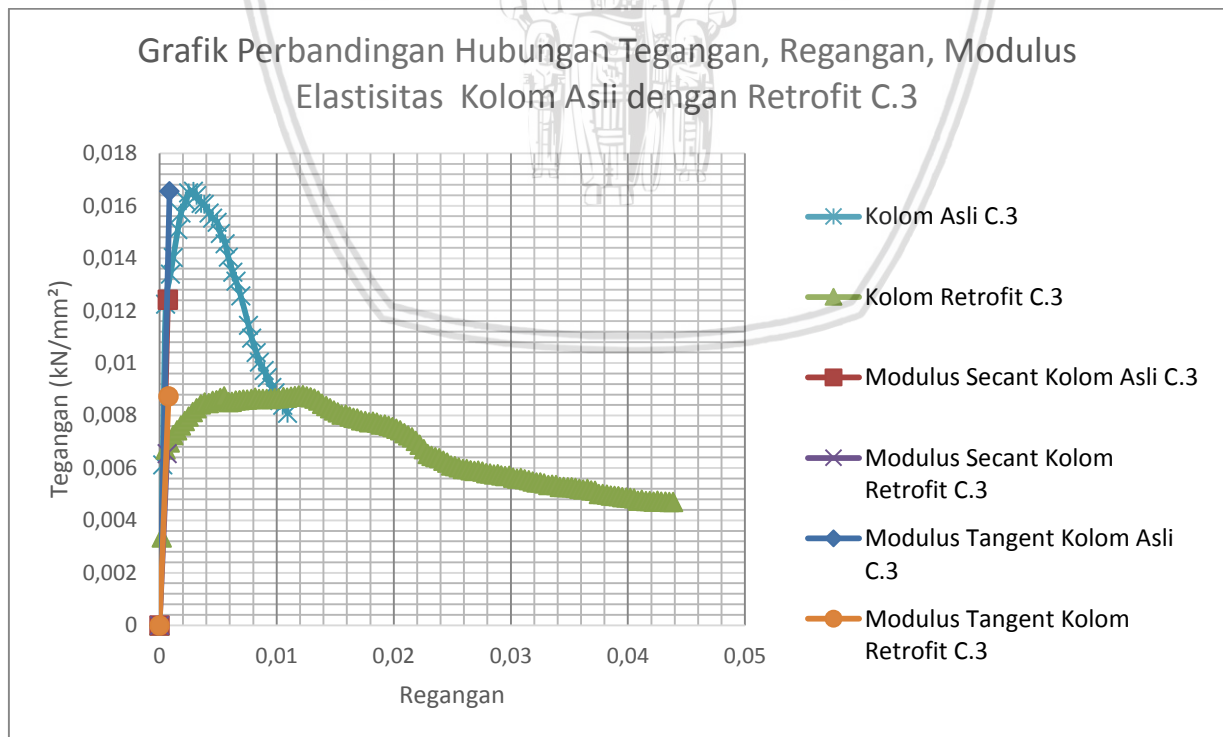
Gambar 4.35 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli C.3.1 dengan kolom retrofit C.3.1



Gambar 4.36 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli C.3.2 dengan kolom retrofit C.3.2



Gambar 4.37 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli C.3.3 dengan kolom retrofit C.3.3



Gambar 4.38 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli C.3 dengan kolom retrofit C.3

Dari data penelitian didapatkan nilai modulus elastisitas yaitu kolom asli C.3 memiliki nilai modulus elastisitas sebesar $17,3101 \text{ kN/mm}^2$ dan kolom retrofit C.3 memiliki modulus elastisitas sebesar $10,0617 \text{ kN/mm}^2$. Disimpulkan bahwa, kolom asli C.3 memiliki nilai modulus elastisitas lebih tinggi daripada kolom retrofit C.3. Besar penurunan modulus elastisitas kolom asli C.3 sebesar 41,87 % dari kolom retrofit C.3.



4.6.3.4 Kolom Asli D.3 dengan Kolom Retrofit D.3

Tabel 4.26 Tabel data rata –rata hasil tegangan regangan kolom asli D.3

No	Defleksi (mm)	Regangan	D.3.1		D.3.2		D.3.3		RATA - RATA
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN	kN/mm2	kN/mm2
1	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,0800	0,0003	72,5000	0,0050	88,7500	0,0062	102,8500	0,0071	0,0061
3	0,1600	0,0005	145,0000	0,0101	177,5000	0,0123	205,7000	0,0143	0,0122
4	0,2800	0,0009	164,5000	0,0114	194,7000	0,0135	223,9000	0,0155	0,0135
5	0,3600	0,0012	177,5000	0,0123	212,7000	0,0148	235,3000	0,0163	0,0145
6	0,4900	0,0016	188,4000	0,0131	227,3000	0,0158	246,8000	0,0171	0,0153
7	0,5700	0,0019	201,4000	0,0140	240,9000	0,0167	260,6000	0,0181	0,0163
8	0,6500	0,0022	206,5000	0,0143	248,4000	0,0173	270,8000	0,0188	0,0168
9	0,7700	0,0026	206,8000	0,0144	249,3000	0,0173	279,5000	0,0194	0,0170
10	0,8500	0,0028	202,2000	0,0140	245,8000	0,0171	284,2000	0,0197	0,0169
11	0,9800	0,0033	201,5000	0,0140	245,1000	0,0170	283,7000	0,0197	0,0169
12	1,0600	0,0035	197,5000	0,0137	240,4000	0,0167	278,0000	0,0193	0,0166
13	1,1800	0,0039	197,1000	0,0137	229,8000	0,0160	274,9000	0,0191	0,0162
14	1,2600	0,0042	193,4000	0,0134	219,2000	0,0152	265,9000	0,0185	0,0157
15	1,3800	0,0046	188,4000	0,0131	208,8000	0,0145	253,4000	0,0176	0,0151
16	1,4600	0,0049	180,5000	0,0125	202,4000	0,0141	248,8000	0,0173	0,0146
17	1,5800	0,0053	173,8000	0,0121	196,3000	0,0136	232,8000	0,0162	0,0140
18	1,6600	0,0055	166,8000	0,0116	192,8000	0,0134	227,2000	0,0158	0,0136
19	1,7800	0,0059	156,6000	0,0109	190,2000	0,0132	217,6000	0,0151	0,0131
20	1,8600	0,0062	151,3000	0,0105	182,6000	0,0127	213,2000	0,0148	0,0127
21	1,9800	0,0066	144,0000	0,0100	178,1000	0,0124	207,0000	0,0144	0,0122
22	2,0600	0,0069	139,4000	0,0097	169,6000	0,0118	208,2000	0,0145	0,0120
23	2,1800	0,0073	133,0000	0,0092	164,5000	0,0114	197,8000	0,0137	0,0115
24	2,2600	0,0075	127,9000	0,0089	156,9000	0,0109	193,6000	0,0134	0,0111
25	2,3800	0,0079	120,6000	0,0084	151,8000	0,0105	186,0000	0,0129	0,0106
26	2,4600	0,0082	118,2000	0,0082	148,9000	0,0103	183,4000	0,0127	0,0104
27	2,5800	0,0086	110,7000	0,0077	144,2000	0,0100	177,2000	0,0123	0,0100
28	2,6600	0,0089	106,8000	0,0074	140,8000	0,0098	172,1000	0,0120	0,0097
29	2,7800	0,0093	103,5000	0,0072	136,0000	0,0094	161,3000	0,0112	0,0093
30	2,8600	0,0095	102,2000	0,0071	134,0000	0,0093	151,1000	0,0105	0,0090

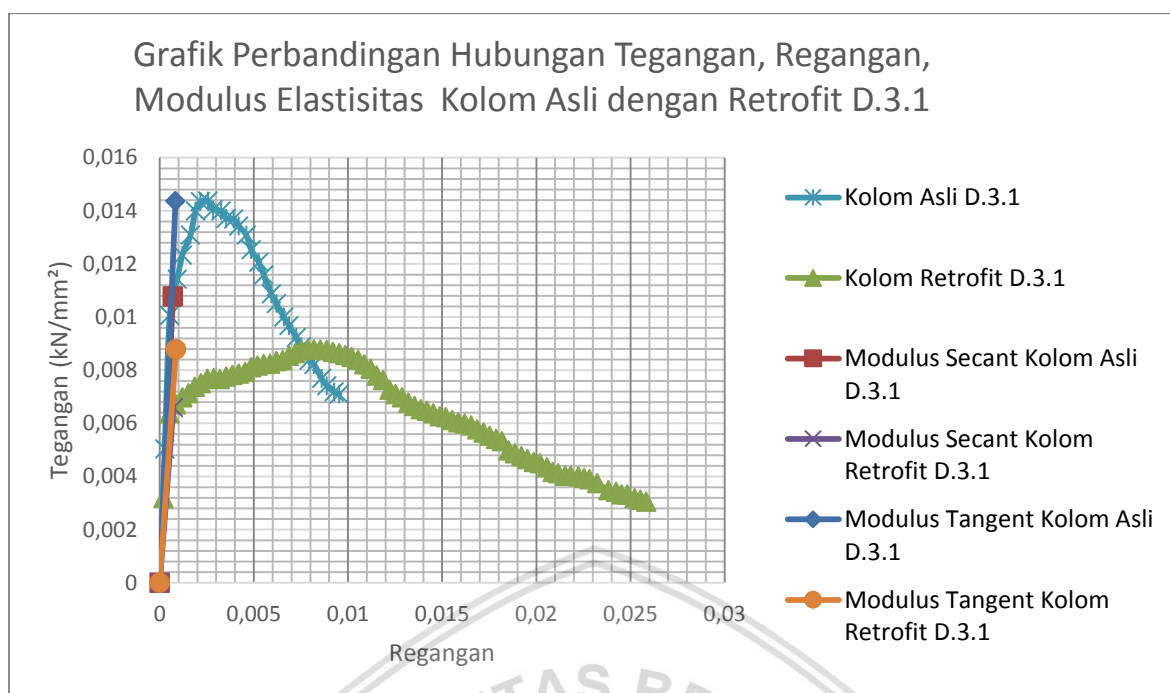
Tabel 4.27 Tabel data rata –rata hasil tegangan regangan kolom retrofit D.3

No	Defleksi (mm)	Regangan	D.3.1		D.3.2		D.3.3		RATA - RATA
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN/mm ²
1	0,0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0,0600	0,0002	103,2500	0,0032	122,8500	0,0038	123,4500	0,0038	0,0036
3	0,1600	0,0005	206,5000	0,0064	245,7000	0,0076	246,9000	0,0076	0,0072
4	0,2600	0,0009	217,7000	0,0067	250,5000	0,0077	261,3000	0,0081	0,0075
5	0,3600	0,0012	226,1000	0,0070	258,5000	0,0080	271,9000	0,0084	0,0078
6	0,4600	0,0015	231,4000	0,0071	263,9000	0,0081	283,9000	0,0088	0,0080
7	0,5600	0,0019	239,2000	0,0074	268,7000	0,0083	291,8000	0,0090	0,0082
8	0,6600	0,0022	243,2000	0,0075	273,0000	0,0084	300,8000	0,0093	0,0084
9	0,7600	0,0025	248,9000	0,0077	275,3000	0,0085	307,9000	0,0095	0,0086
10	0,8600	0,0029	249,7000	0,0077	272,4000	0,0084	315,8000	0,0097	0,0086
11	0,9600	0,0032	248,5000	0,0077	276,0000	0,0085	320,1000	0,0099	0,0087
12	1,0600	0,0035	251,7000	0,0078	284,2000	0,0088	324,2000	0,0100	0,0088
13	1,1600	0,0039	253,6000	0,0078	289,1000	0,0089	326,7000	0,0101	0,0089
14	1,2600	0,0042	255,1000	0,0079	297,6000	0,0092	330,9000	0,0102	0,0091
15	1,3600	0,0045	257,0000	0,0079	300,7000	0,0093	335,1000	0,0103	0,0092
16	1,4600	0,0049	263,0000	0,0081	301,9000	0,0093	335,4000	0,0104	0,0093
17	1,5600	0,0052	264,8000	0,0082	303,9000	0,0094	337,8000	0,0104	0,0093
18	1,6600	0,0055	266,6000	0,0082	309,4000	0,0095	338,7000	0,0105	0,0094
19	1,7600	0,0059	267,1000	0,0082	313,5000	0,0097	338,9000	0,0105	0,0095
20	1,8600	0,0062	270,2000	0,0083	318,1000	0,0098	339,1000	0,0105	0,0095
21	1,9600	0,0065	271,6000	0,0084	322,0000	0,0099	337,9000	0,0104	0,0096
22	2,0600	0,0069	277,0000	0,0085	325,6000	0,0100	336,1000	0,0104	0,0097
23	2,1600	0,0072	279,9000	0,0086	328,6000	0,0101	336,3000	0,0104	0,0097
24	2,2600	0,0075	283,6000	0,0088	330,7000	0,0102	336,9000	0,0104	0,0098
25	2,3600	0,0079	284,8000	0,0088	331,0000	0,0102	337,4000	0,0104	0,0098
26	2,4600	0,0082	284,7000	0,0088	331,5000	0,0102	337,9000	0,0104	0,0098
27	2,5600	0,0085	284,4000	0,0088	331,7000	0,0102	337,5000	0,0104	0,0098
28	2,6600	0,0089	284,0000	0,0088	328,4000	0,0101	335,9000	0,0104	0,0098
29	2,7600	0,0092	281,5000	0,0087	325,8000	0,0101	334,8000	0,0103	0,0097
30	2,8600	0,0095	280,0000	0,0086	321,8000	0,0099	334,0000	0,0103	0,0096
31	2,9600	0,0099	277,6000	0,0086	318,8000	0,0098	331,7000	0,0102	0,0095
32	3,0600	0,0102	275,4000	0,0085	319,1000	0,0098	330,8000	0,0102	0,0095
33	3,1600	0,0105	271,8000	0,0084	317,9000	0,0098	329,3000	0,0102	0,0095
34	3,2600	0,0109	266,2000	0,0082	317,5000	0,0098	328,8000	0,0101	0,0094
35	3,3600	0,0112	260,9000	0,0081	314,3000	0,0097	328,3000	0,0101	0,0093

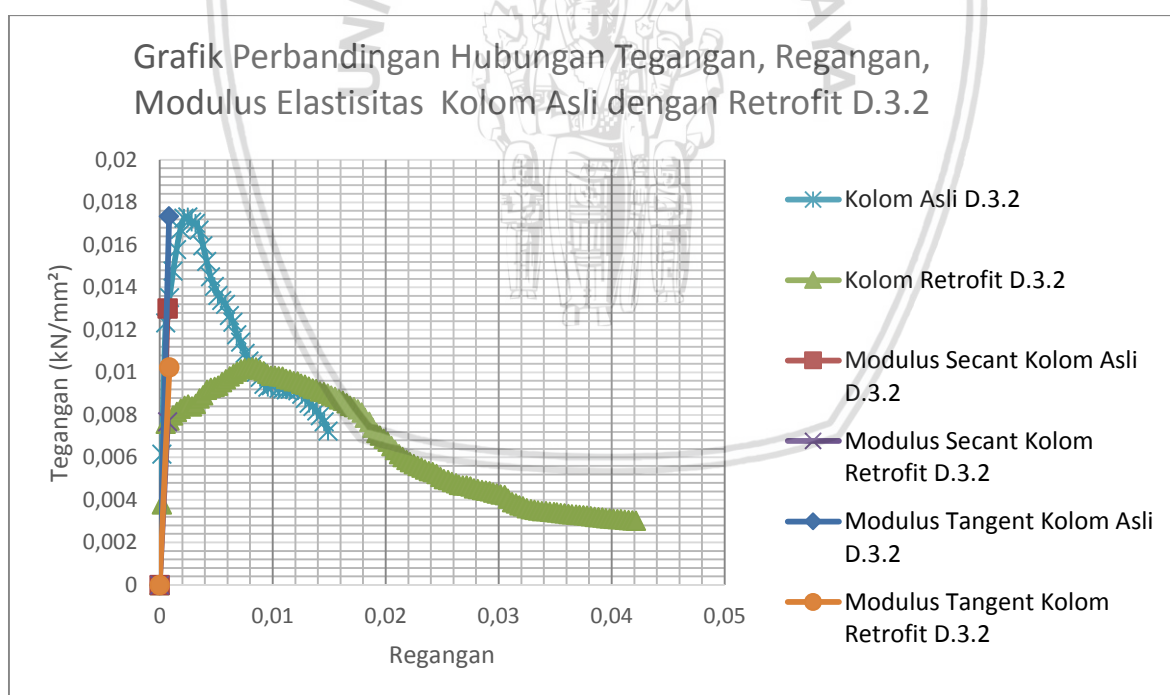
No	Defleksi (mm)	Regangan	D.3.1		D.3.2		D.3.3		RATA - RATA
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN/mm ²
36	3,4600	0,0115	252,9000	0,0078	313,3000	0,0097	327,3000	0,0101	0,0092
37	3,5600	0,0119	247,2000	0,0076	310,8000	0,0096	326,5000	0,0101	0,0091
38	3,6600	0,0122	235,7000	0,0073	310,3000	0,0096	323,9000	0,0100	0,0089
39	3,7600	0,0125	230,0000	0,0071	306,7000	0,0095	323,3000	0,0100	0,0088
40	3,8600	0,0129	226,0000	0,0070	305,6000	0,0094	320,9000	0,0099	0,0088
41	3,9600	0,0132	219,7000	0,0068	302,6000	0,0093	317,7000	0,0098	0,0086
42	4,0600	0,0135	215,5000	0,0067	299,6000	0,0092	314,9000	0,0097	0,0085
43	4,1600	0,0139	211,6000	0,0065	298,6000	0,0092	312,3000	0,0096	0,0085
44	4,2600	0,0142	209,7000	0,0065	295,1000	0,0091	311,4000	0,0096	0,0084
45	4,3600	0,0145	206,8000	0,0064	294,0000	0,0091	310,2000	0,0096	0,0083
46	4,4600	0,0149	203,0000	0,0063	291,8000	0,0090	309,1000	0,0095	0,0083
47	4,5600	0,0152	201,8000	0,0062	288,8000	0,0089	307,5000	0,0095	0,0082
48	4,6600	0,0155	198,5000	0,0061	286,7000	0,0088	305,4000	0,0094	0,0081
49	4,7600	0,0159	195,9000	0,0060	283,0000	0,0087	303,1000	0,0094	0,0080
50	4,8600	0,0162	194,3000	0,0060	280,9000	0,0087	302,7000	0,0093	0,0080
51	4,9600	0,0165	191,7000	0,0059	277,2000	0,0086	301,1000	0,0093	0,0079
52	5,0600	0,0169	187,2000	0,0058	273,0000	0,0084	299,3000	0,0092	0,0078
53	5,1600	0,0172	183,3000	0,0057	271,2000	0,0084	296,4000	0,0091	0,0077
54	5,2600	0,0175	179,2000	0,0055	267,8000	0,0083	293,8000	0,0091	0,0076
55	5,3600	0,0179	175,5000	0,0054	262,7000	0,0081	291,4000	0,0090	0,0075
56	5,4500	0,0182	172,5000	0,0053	255,3000	0,0079	288,1000	0,0089	0,0074
57	5,5600	0,0185	161,3000	0,0050	248,9000	0,0077	283,7000	0,0088	0,0071
58	5,6600	0,0189	157,8000	0,0049	240,2000	0,0074	279,4000	0,0086	0,0070
59	5,7600	0,0192	154,2000	0,0048	231,9000	0,0072	276,0000	0,0085	0,0068
60	5,8600	0,0195	150,8000	0,0047	227,8000	0,0070	272,4000	0,0084	0,0067
61	5,9600	0,0199	147,5000	0,0046	222,9000	0,0069	271,3000	0,0084	0,0066
62	6,0600	0,0202	145,9000	0,0045	218,3000	0,0067	267,7000	0,0083	0,0065
63	6,1700	0,0206	140,6000	0,0043	211,9000	0,0065	262,6000	0,0081	0,0063
64	6,2600	0,0209	135,2000	0,0042	205,7000	0,0063	256,7000	0,0079	0,0061
65	6,3500	0,0212	133,8000	0,0041	199,5000	0,0062	250,7000	0,0077	0,0060
66	6,4600	0,0215	130,7000	0,0040	194,9000	0,0060	246,9000	0,0076	0,0059
67	6,5500	0,0218	130,5000	0,0040	190,9000	0,0059	242,2000	0,0075	0,0058
68	6,6700	0,0222	129,8000	0,0040	187,5000	0,0058	237,8000	0,0073	0,0057
69	6,7600	0,0225	127,7000	0,0039	184,4000	0,0057	235,0000	0,0073	0,0056
70	6,8500	0,0228	126,4000	0,0039	181,6000	0,0056	230,9000	0,0071	0,0055

No	Defleksi (mm)	Regangan	D.3.1		D.3.2		D.3.3		RATA - RATA
			Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Gaya Tekan	Tegangan	Tegangan
			kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN	kN/mm ²	kN/mm ²
71	6,9700	0,0232	121,4000	0,0037	179,1000	0,0055	228,1000	0,0070	0,0054
72	7,1500	0,0238	112,9000	0,0035	173,4000	0,0054	217,2000	0,0067	0,0052
73	7,2700	0,0242	111,0000	0,0034	172,0000	0,0053	211,1000	0,0065	0,0051
74	7,3600	0,0245	108,0000	0,0033	169,0000	0,0052	207,1000	0,0064	0,0050
75	7,4500	0,0248	107,5000	0,0033	164,7000	0,0051	199,3000	0,0062	0,0049
76	7,5700	0,0252	103,1000	0,0032	161,2000	0,0050	195,2000	0,0060	0,0047
77	7,6600	0,0255	101,2000	0,0031	160,0000	0,0049	190,7000	0,0059	0,0046
78	7,7500	0,0258	99,1000	0,0031	156,8000	0,0048	186,6000	0,0058	0,0046

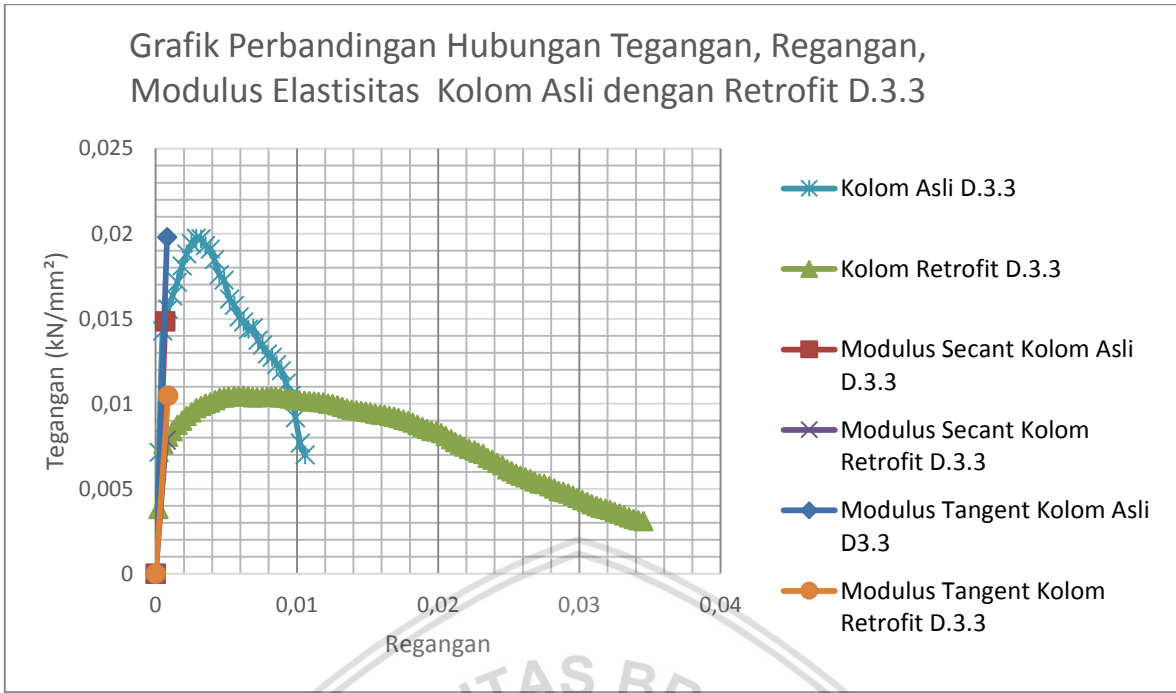




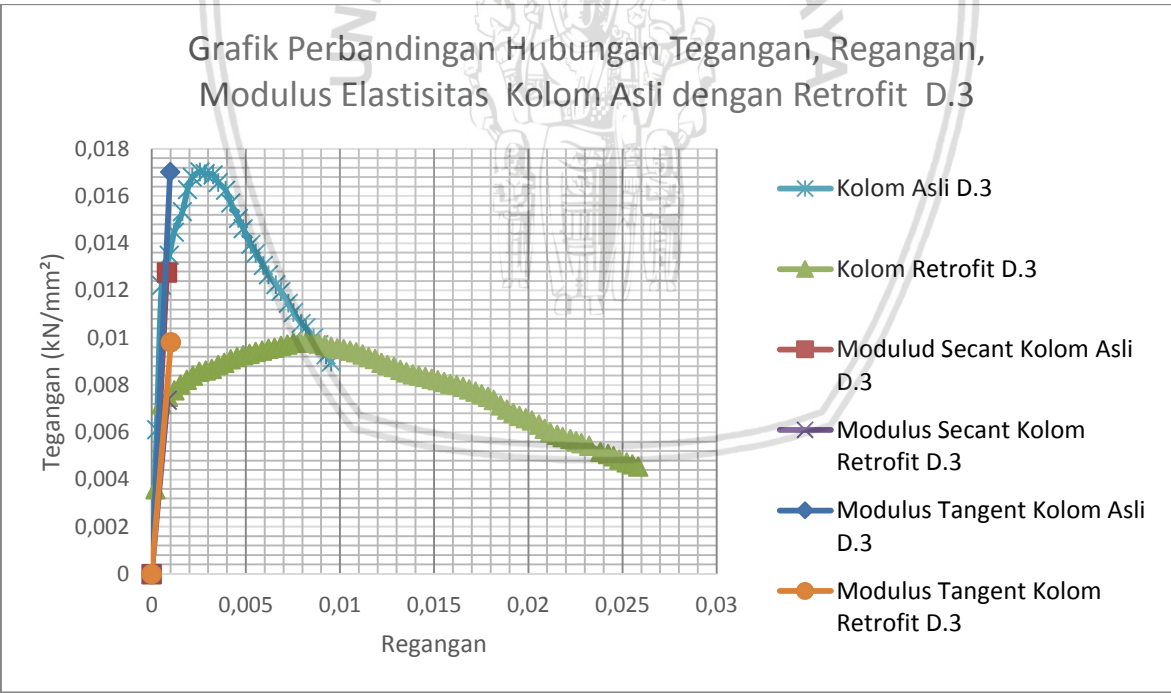
Gambar 4.3915 Grafik hubungan tegangan regangan kolom asli D.3.1 dengan kolom retrofit D.3.1



Gambar 4.4016 Grafik hubungan tegangan dan regangan kolom asli D.3.2 dengan kolom retrofit D.3.2



Gambar 4.41 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.3.3 dengan kolom retrofit D.3.3



Gambar 4.42 Grafik perbandingan hasil modulus elastisitas kolom asli D.3 dengan kolom retrofit D.3

Dari data penelitian didapatkan nilai modulus elastisitas yaitu kolom asli D.3 memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 15,7791 kN/mm² dan kolom retrofit D.3 memiliki modulus elastisitas sebesar 8,7568 kN/mm². Disimpulkan bahwa, kolom asli D.3 memiliki nilai modulus elastisitas lebih tinggi daripada kolom retrofit D.3. Besar penurunan modulus elastisitas kolom asli D.3 sebesar 44,50 % dari kolom retrofit D.3.

4.7 Daktilitas Kolom Asli dengan Kolom Retrofit

Daktilitas merupakan kemampuan suatu material untuk berdeformasi pada masa inelastis. Nilai daktilitas diperlukan untuk mengetahui jangka waktu yang diperlukan suatu material mengalami kehancuran. Ini bertujuan saat mengalami kehancuran masih ada selang waktu untuk menyelamatkan diri. Semakin tinggi nilai daktilitas maka semakin lama waktu yang diperlukan struktur untuk mengalami kehancuran.

Nilai daktilitas didapatkan dari rumus :

$$\mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta y}$$

Dimana :

μ_{Δ} = Nilai daktilitas

Δu = Deformasi *ultimate* (mm)

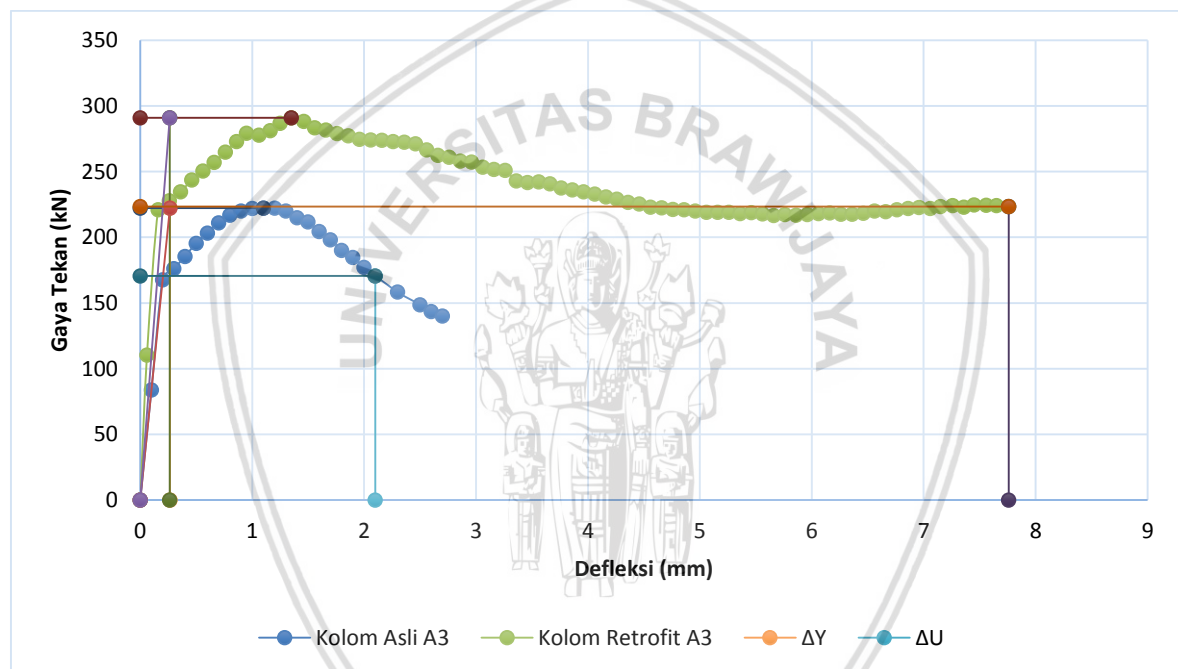
Δy = Deformasi leleh (mm)

Untuk mencari nilai daktilitas kolom asli dan kolom retrofit, penentuan nilai deformasi ultimate didapatkan dari nilai daktilitas dengan penurunan kapasitas aksial maksimum yang sama antara kolom asli dan kolom retrofit.

4.7.1 Daktilitas Kolom Asli A.3 dan Kolom Retrofit A.3

Tabel 4.28 Tabel hasil analisis nilai daktilitas kolom asli dan kolom retrofit

	Kolom	Gaya Tekan (kN)	Δy (mm)	Beban Akhir (kN)	% Beban Keruntu	Beban Runtuh (kN)	Δu (mm)	Daktilitas
A3	asli	222,3	0,20	140,1	76,77	170,6	2,1	10,6
	retrofit	291,0	0,20	223,4		223,4	7,76	39,3
B3	asli	225,2	0,20	118,9	52,79	118,9	3,26	16,5
	retrofit	361,2	0,19	175,0		190,7	8,6	44,3
C3	asli	238,5	0,22	116,4	53,88	128,5	2,9	13,5
	retrofit	282,9	0,20	152,4		152,4	13,16	67,4
D3	asli	245,2	0,24	129,1	52,65	129,1	2,86	11,8
	retrofit	317,7	0,25	147,5		167,3	7,2	28,6



Gambar 4.43 Grafik analisis nilai daktilitas kolom asli a.3 dengan kolom retrofit A.3

Contoh perhitungan daktilitas (Kolom asli A.3) :

Dik : $\Delta u = 0,009$ mm

$\Delta y = 0,0008$ mm

Dit : μ_{Δ}

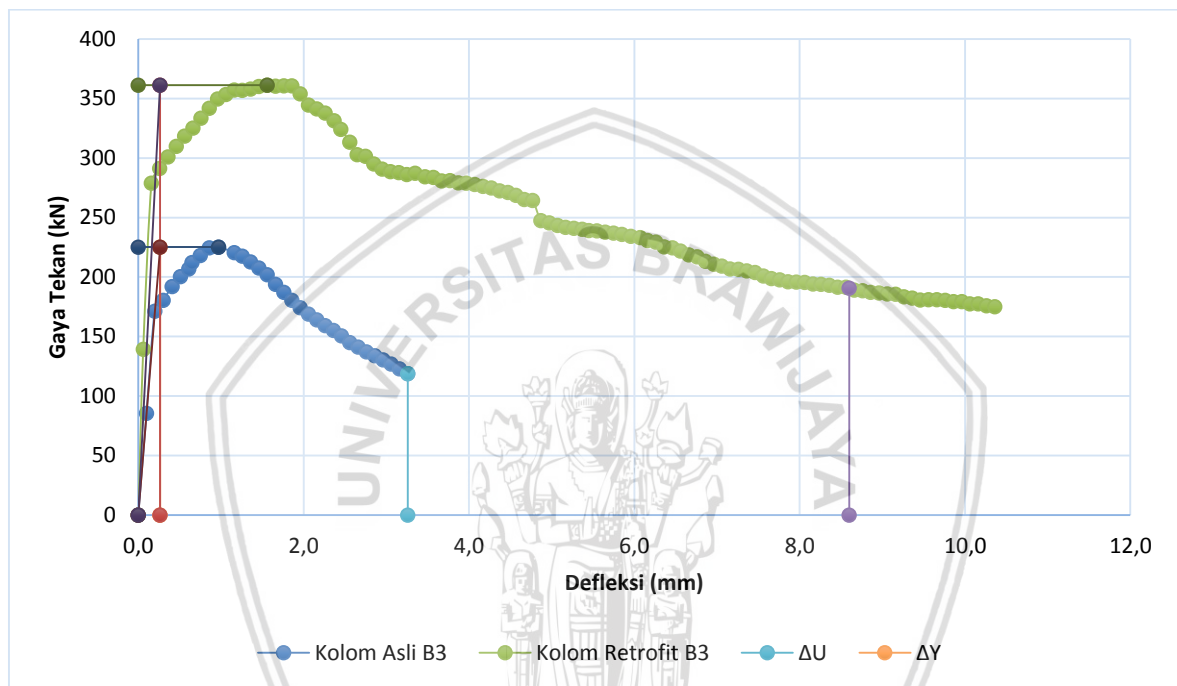
Jawab : $\mu_{\Delta} = \frac{\Delta u}{\Delta y}$

$$\mu_{\Delta} = \frac{0,009}{0,0008}$$

$$\mu_{\Delta} = 11,25$$

Nilai daktilitas ditentukan dari grafik hubungan kuat beban aksial dengan defleksi dan kekakuan. Dari hasil analisis didapatkan nilai daktilitas pada kolom asli A.3 sebesar 10,6 dan nilai daktilitas pada kolom retrofit A.3 sebesar 39,3. Dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan daktilitas pada kolom retrofit A.3 sebesar 271,87 % dari daktilitas kolom asli A.3.

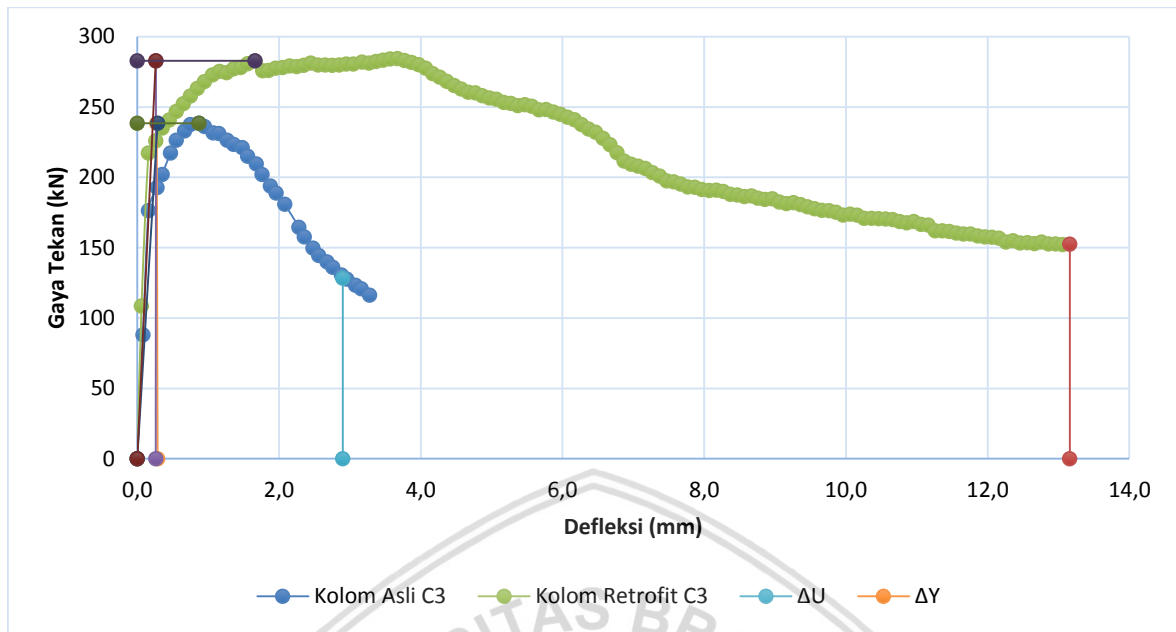
4.7.2 Daktilitas Kolom Asli B.3 dan Kolom Retrofit B.3



Gambar 4.4417 Grafik analisis nilai daktilitas kolom asli B.3 dengan kolom retrofit B.3

Nilai daktilitas ditentukan dari grafik hubungan kuat beban aksial dengan defleksi dan kekakuan. Dari hasil analisis didapatkan nilai daktilitas pada kolom asli B.3 sebesar 16,5 dan nilai daktilitas pada kolom retrofit B.3 sebesar 44,3. Dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan daktilitas pada kolom retrofit B.3 sebesar 167,82 % dari daktilitas kolom asli B.3.

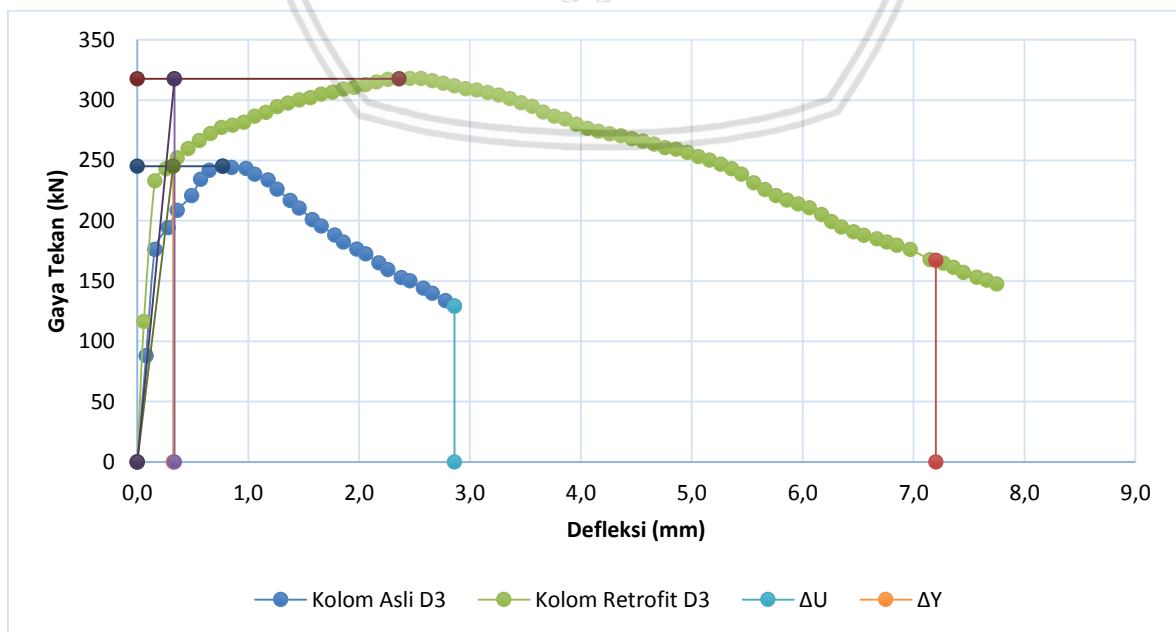
4.7.3 Daktilitas Kolom Asli C.3 dan Kolom Retrofit C.3



Gambar 4.45 Grafik Analisis Nilai Daktilitas kolom asli C.3 dengan kolom retrofit C.3

Nilai daktilitas ditentukan dari grafik hubungan kuat beban aksial dengan defleksi dan kekakuan. Dari hasil analisis didapatkan nilai daktilitas pada kolom asli C.3 sebesar 13,5 dan nilai daktilitas pada kolom retrofit C.3 sebesar 67,4. Dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan daktilitas pada kolom retrofit C.3 sebesar 400,33 % dari daktilitas kolom asli C.3.

4.6.4 Daktilitas Kolom Asli D.3 dan Kolom Retrofit D.3



Gambar 4.46 Grafik analisis nilai daktilitas kolom asli D.3 dengan kolom retrofit D.3

Nilai daktilitas ditentukan dari grafik hubungan kuat beban aksial dengan defleksi dan kekakuan. Dari hasil analisis didapatkan nilai daktilitas pada kolom asli D.3 sebesar 11,8 dan nilai daktilitas pada kolom retrofit D.3 sebesar 28,6. Dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan daktilitas pada kolom retrofit D.3 sebesar 142,59 % dari daktilitas kolom asli D.3.

4.8 Analisis Efektifitas Kolom Retrofit

Setelah dilakukan pengujian kuat tekan dan defleksi dilakukan perhitungan lebih lanjut dan didapatkan kuat tekan maksimum, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas. Dari data-data yang didapatkan tersebut maka dapat digunakan untuk mengetahui efektifitas dari kolom retrofit dengan variasi yang telah ditentukan. Berikut merupakan tabel rekapitulasi data-data kolom retrofit.

Tabel 4.29 Tabel rekapitulasi data-data kolom asli dan kolom retrofit.

NO	Kode Benda Uji Kolom	Gaya Tekan Maksimum (kN)		Kekakuan (kN/mm)		Modulus Elastisitas (kN/mm ²)		Daktilitas		Peningkatan Daktilitas (%)
		Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	Asli	Retrofit	
1	A.3.1	238,7	184,5	883,43	678,68	18,4048	6,2841	7,9	81,2	928,0749
2	A3 A.3.2	221,2	391,9	790,00	1406,34	16,4583	13,0217	13,8	37,1	168,8665
3	A.3.3	215,0	319,6	777,83	1102,91	16,2048	10,2122	7,7	85,8	1011,8544
4	B.3.1	190,4	198,7	738,00	735,93	15,3750	6,8141	18,1	114,9	535,2946
5	B3 B.3.2	247,3	465,2	965,60	1721,55	20,1166	15,9402	16,7	51,1	206,8436
6	B.3.3	248,5	477,3	884,49	1713,82	18,4269	15,8687	18,3	33,0	80,7989
7	C.3.1	255,8	364,2	917,08	1259,36	19,1058	11,6607	16,1	92,7	476,9769
8	C3 C.3.2	246,8	227,5	888,90	840,00	18,5187	7,7778	16,3	96,3	489,7676
9	C.3.3	227,5	293,2	816,94	1084,76	17,0195	10,0441	18,0	63,6	253,4805
10	D.3.1	206,8	284,8	734,80	977,85	15,3084	9,0542	13,5	28,4	109,4784
11	D3 D.3.2	249,3	331,7	888,54	1147,56	18,5113	10,6256	21,2	42,0	98,0063
12	D.3.3	284,2	339,1	1049,45	1158,42	21,8635	10,7261	15,6	37,3	140,0644

Tabel 4.30 Tabel persentase perubahan gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas kolom asli dan kolom retrofit.

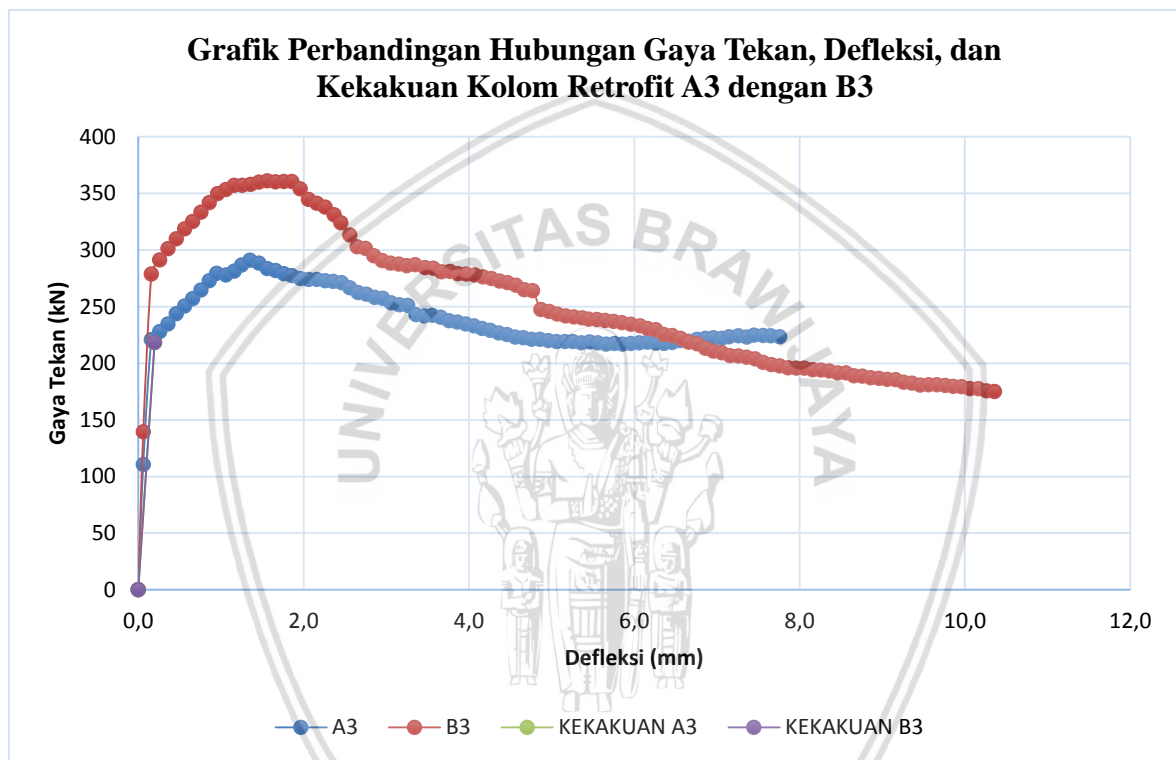
NO	Kode Benda Uji Kolom	Perubahan Gaya Tekan Maksimum (%)	Perubahan Kekakuan (%)	Perubahan Modulus Elastisitas (%)	Perubahan Daktilitas (%)	
1	A3	A.3.1	-22,71	-23,18	-65,86	928,07
2		A.3.2	77,17	78,02	-20,88	168,87
3		A.3.3	48,65	41,79	-36,98	1011,85
4	B3	B.3.1	4,36	-0,28	-55,68	535,29
5		B.3.2	88,11	78,29	-20,76	206,84
6		B.3.3	92,07	93,76	-13,88	80,80
7	C3	C.3.1	42,38	37,32	-38,97	476,98
8		C.3.2	-7,82	-5,50	-58,00	489,77
9		C.3.3	28,88	32,78	-40,98	253,48
10	D3	D.3.1	37,72	33,08	-40,85	109,48
11		D.3.2	33,05	29,15	-42,60	98,01
12		D.3.3	19,32	10,38	-50,94	140,06

NO	Kode Benda Uji Kolom	Perubahan Gaya Tekan Maksimum (%)	Perubahan Kekakuan (%)	Perubahan Modulus Elastisitas (%)	Perubahan Daktilitas (%)
1	A3	30,9	31,76	-41,44	271,87
2	B3	60,4	62,83	-27,63	167,82
3	C3	18,6	30,78	-41,87	400,33
4	D3	29,6	24,87	-44,50	142,59

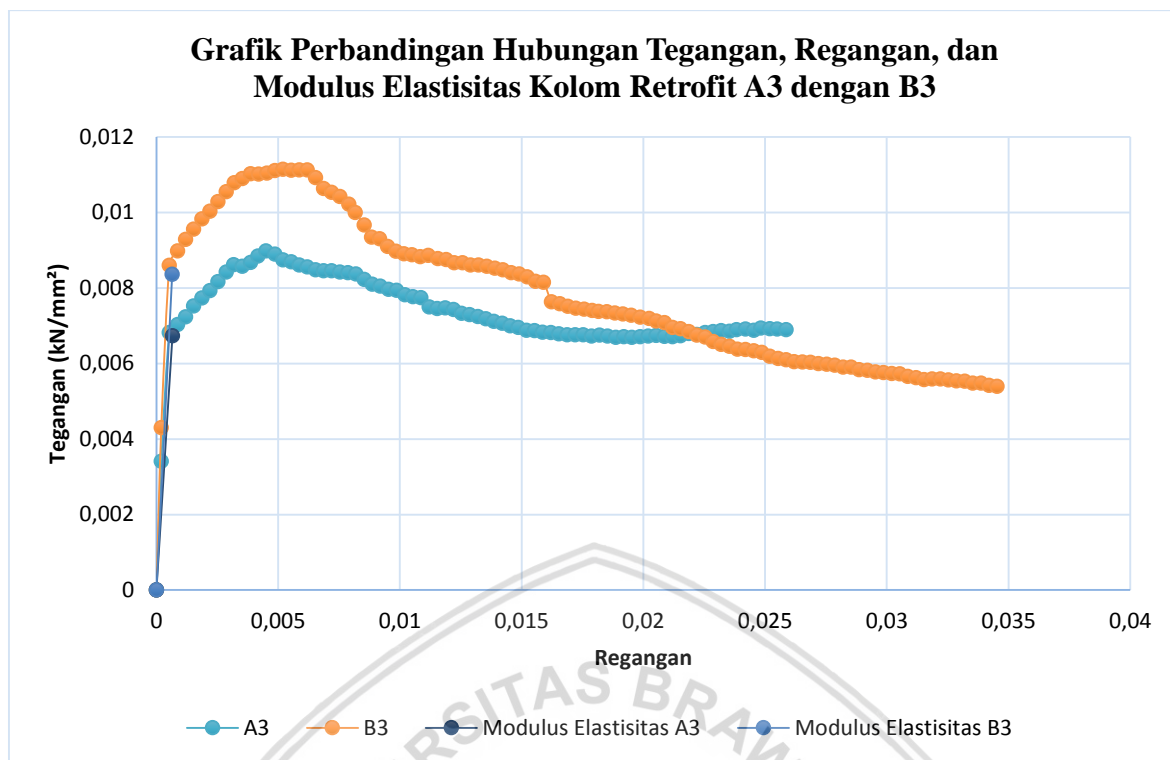
4.8.1 Analisis Efektifitas Kolom Retrofit A.3 dengan Kolom Retrofit B.3

Setelah dilakukan penelitian dan pengujian pada kolom asli A.3 dan kolom asli B.3 dengan *metode concrete jacketing*, dimana kolom retrofit A.3 yang dipasang 4 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 1 x 1 cm dibanding dengan kolom retrofit B.3 yang dipasang 8 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 1 x 0,5 cm dengan jarak antar sengkang yang sama yaitu 9.3 cm. Rasio tulangan longitudinal kolom retrofit A.3 dan rasio

tulangan longitudinal kolom retrofit B.3 sebesar 1,23%. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa perbedaan kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit B.3 lebih besar 26,18% dibanding kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit A.3. Kolom retrofit B.3 memiliki gaya tekan maksimum 24,14 % lebih besar dibanding dengan gaya tekan maksimum kolom retrofit A.3. Dapat diambil kesimpulan berdasarkan hasil persen perbedaan nilai gaya tekan maksimum bahwa gaya tekan kolom retrofit B.3 lebih besar daripada gaya tekan kolom retrofit A.3. Analisis perbandingan kolom retrofit A.3 dengan kolom retrofit B.3 dapat dilihat pada tabel 4.34 tabel 4.35, gambar 4.47, dan gambar 4.48.



Gambar 4.47 Grafik perbandingan hasil gaya tekan, defleksi, dan kekakuan kolom retrofit A.3 dengan kolom retrofit B.3



Gambar 4.48 Grafik perbandingan hasil hubungan tegangan, regangan, dan modulus elastisitas kolom retrofit A.3-B.3.

Tabel 4.31 Tabel perbandingan hasil penelitian kolom retrofit A.3 dengan B.3

No	Kode Benda Uji	Gaya Tekan Maksimum (kN)	Defleksi Maksimum (mm)	Kekakuan (kN/mm)	Modulus Elastisitas(kN/mm ²)
1	A3	291	1,35	1105	10,2315
2	B3	361,2	1,56	1394,3333	12,9105

Dari data penelitian dapat disimpulkan bahwa kolom retrofit B.3 lebih efisien dibanding dengan kolom retrofit A.3, karena nilai daktilitas kolom retrofit B.3 lebih besar dibandingkan kolom retrofit A.3.



Gambar 4.49 kolom retrofit A.3.1

Dari hasil pengujian kuat tekan, kolom retrofit A.3.1 memiliki gaya tekan maksimum lebih rendah dari gaya tekan maksimum kolom asli A.3.1. Dapat dilihat pada gambar 4.49 jaket beton pada kolom retrofit A.3.1 mengalami keruntuhan yang besar dan tulangan transversal kolom mengalami deformasi. Ini mempengaruhi nilai kuat tekan maksimum yang terdapat pada kolom retrofit A.3.1.



Gambar 4.50 kolom retrofit A.3.2

Dari hasil pengujian kuat tekan, kolom retrofit A.3.2 mengalami peningkatan gaya tekan maksimum dari kolom asli A.3.2. Kekuatan gaya tekan maksimum kolom retrofit A.3.2 memiliki nilai paling tinggi daripada kolom retrofit A.3.1 dan A.3.3. Akan tetapi berdasarkan hasil perhitungan, peningkatan daktilitas pada kolom A.3.2 mengalami peningkatan yang paling kecil dibandingkan dengan kolom retrofit A.3.1 dan A.3.3. Dapat dilihat pada gambar 4.50 jaket beton pada kolom retrofit mengalami sedikit keruntuhan

dan tulangan longitudinal tidak mengalami patah, ini dapat mempengaruhi besarnya nilai gaya tekan maksimum kolom retrofit.



Gambar 4.51 kolom retrofit A.3.3

Dari hasil pengujian kuat tekan, kolom retrofit A.3.3 mengalami peningkatan gaya tekan maksimum dari kolom asli A.3.3. Berdasarkan hasil perhitungan, kolom retrofit A.3.3 memiliki peningkatan daktilitas paling besar daripada kolom retrofit A.3.1 dan A.3.2. Dapat dilihat pada gambar 4.51, hanya terjadi sedikit keruntuhan jaket beton. Ini mempengaruhi nilai gaya tekan maksimum dan daktilitas kolom retrofit A.3.3.



Gambar 4.52 kolom retrofit B.3.1

Dari hasil pengujian kuat tekan, kolom retrofit B.3.1 mengalami peningkatan yang tidak jauh berbeda dengan kolom asli B.3.1. nilai gaya tekan maksimum kolom retrofit B.3.1 paling rendah daripada kolom retrofit B.3.2 dan B.3.3. Berdasarkan hasil perhitungan, kolom retrofit B.3.1 mengalami peningkatan daktilitas yang paling besar. Dapat dilihat pada gambar 4.52 keruntuhan jaket beton sangat besar dan terdapat tulangan

longitudinal yang mengalami patah serta tulangan transversal yang lepas. Ini mempengaruhi nilai gaya tekan maksimum kolom retrofit B.3.1.1



Gambar 4.53 kolom retrofit B.3.2

Dari hasil pengujian kuat tekan, kolom retrofit B.3.2 mengalami peningkatan gaya tekan maksimum yang besar dari gaya tekan maksimum kolom asli B.3.2. Dapat dilihat pada gambar 4.53 jaket beton hanya mengalami sedikit keruntuhan dibandingkan dengan keruntuhan jaket beton pada kolom B.3.1. Ini mempengaruhi nilai gaya tekan maksimum yang meningkat pada kolom retrofit B.3.2



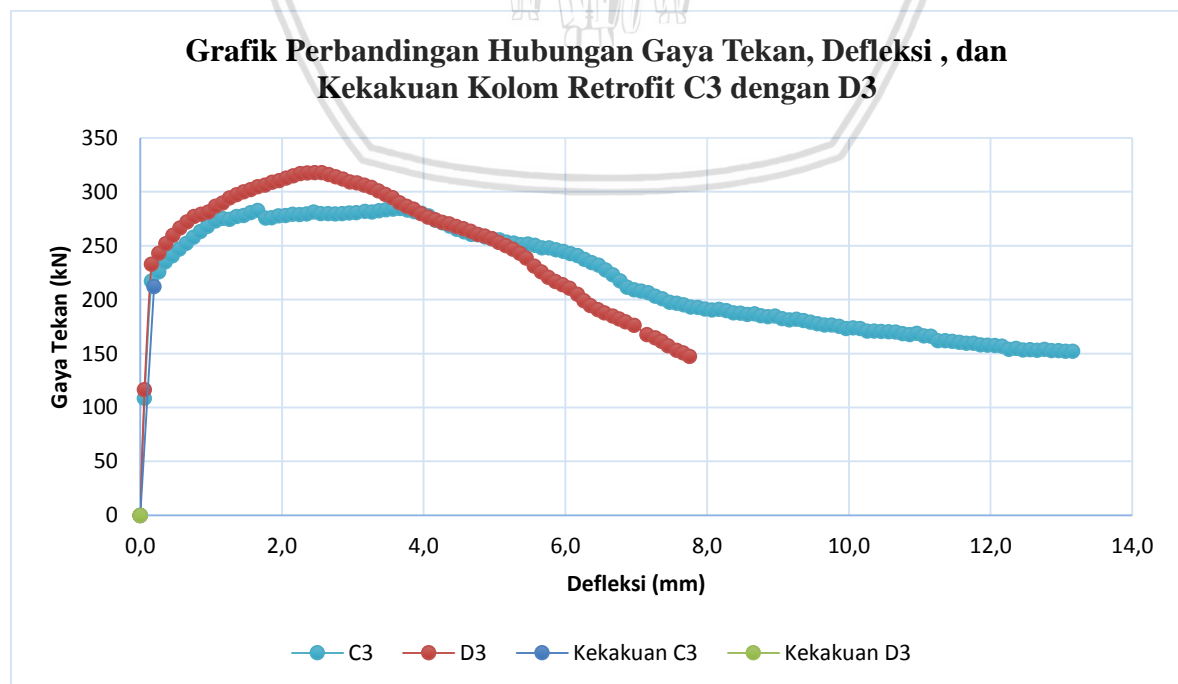
Gambar 4.54 kolom retrofit B.3.3

Dari hasil pengujian kuat tekan, kolom retrofit B.3.3 mengalami peningkatan gaya tekan maksimum dari kolom asli B.3.3. Berdasarkan hasil perhitungan, kolom retrofit B.3.3 mengalami peningkatan daktilitas paling rendah daripada kolom retrofit B.3.1 dan

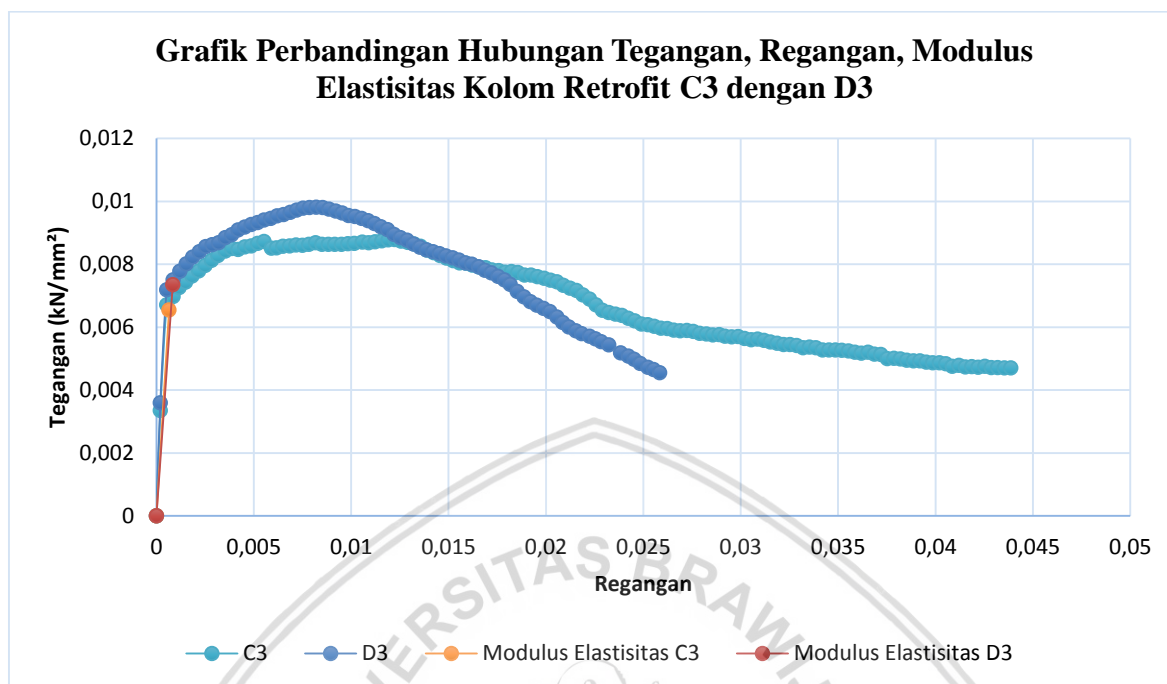
B.3.2. Dapat dilihat pada gambar 4.54 kolom retrofit mengalami keruntuhan pada jaket beton dan terdapat tulangan transversal yang terlepas. Ini mempengaruhi gaya tekan dan daktilitas kolom retrofit B.3.3.

4.8.2 Analisis Efisiensi rasio Tulangan Longitudiaal Kolom Retrofit C.3 dengan Kolom Retrofit D.3

Setelah dilakukan penelitian dan pengujian pada kolom asli C.3 dan kolom asli D.3 dengan *metode concrete jacketing*, dimana kolom retrofit C.3 yang dipasang 4 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 1 x 2 cm dibandingkan kolom retrofit D.3 yang dipasang 8 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 1 x 1 cm dengan jarak antar sengkang yang sama sebesar 9.3 cm. Rasio tulangan longitudinal kolom retrofit C.3 dan rasio tulangan longitudinal kolom retrofit D.3 sebesar 2,47%. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa perbedaan kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit C.3 lebih besar 14,90 % dibanding kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit D.3. Kolom retrofit D.3 memiliki gaya tekan maksimum 12,33 % lebih besar dibanding dengan gaya tekan maksimum kolom retrofit C.3. Dapat diambil kesimpulan berdasarkan hasil persen perbedaan nilai gaya tekan maksimum bahwa gaya tekan kolom retrofit D.3 lebih besar daripada gaya tekan kolom retrofit C.3. Analisis perbandingan kolom retrofit C.3 dengan kolom retrofit D.3 dapat dilihat pada tabel 4.36 tabel 4.37, gambar 4.55, dan gambar 4.56.



Gambar 4.5519 Grafik perbandingan hasil gaya tekan, defleksi, dan kekakuan kolom retrofit C.3-D.3.

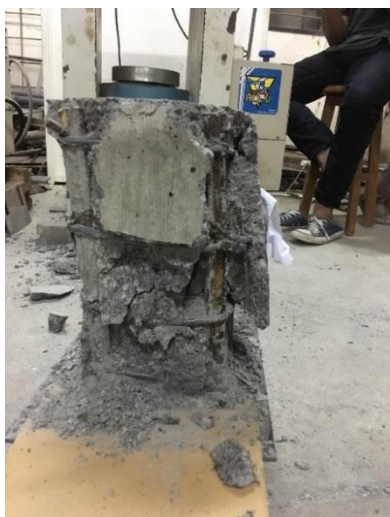


Gambar 4.5620 Grafik perbandingan hasil hubungan tegangan, regangan, dan modulus elastisitas kolom retrofit C.3-D.3.

Tabel 4.32 Tabel perbandingan hasil penelitian kolom retrofit C.3 dengan D.3

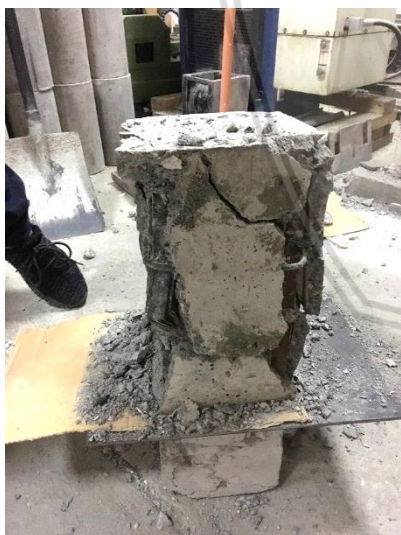
No	Kode Benda Uji	Gaya Tekan Maksimum (kN)	Defleksi Maksimum (mm)	Kekakuan (kN/mm)	Modulus Elastisitas(kN/mm ²)
1	C3	282,9	1,66	1086,6667	10,0617
2	D3	317,7	2,36	945,7337	8,7568

Dari data penelitian dapat disimpulkan bahwa kolom retrofit C.3 lebih efisien dibanding dengan kolom retrofit D.3, karena nilai peningkatan daktilitas kolom retrofit C.3 lebih besar dibandingkan kolom retrofit D.3. Hal ini dikarenakan pada saat proses pengecoran kolom retrofit D.3 material tidak sepenuhnya menyatu dengan kolom asli dan masih terdapat banyak rongga pada kolom yang mempengaruhi nilai daktilitas kolom tersebut.



Gambar 4.57 kolom retrofit C.3.1

Dari hasil pengujian kuat tekan, kolom retrofit C.3.1 mengalami peningkatan gaya tekan maksimum dari kolom asli C.3.1. Berdasarkan hasil perhitungan, nilai daktilitas kolom retrofit C.3.1 mengalami peningkatan paling besar daripada kolom retrofit C.3.2 dan C.3.3. Dapat dilihat pada gambar 4.57 terjadi keruntuhan pada jaket beton dan tulangan transversal mengalami deformasi. Ini mempengaruhi nilai gaya tekan maksimum dan peningkatan nilai daktilitas kolom retrofit C.3.1.



Gambar 4.58 kolom retrofit C.3.2

Dari hasil pengujian kuat tekan, kolom retrofit C.3.2 mengalami peningkatan gaya tekan maksimum dari kolom asli C.3.2 dengan nilai yang tidak jauh berbeda. Berdasarkan perhitungan, kolom retrofit mengalami peningkatan nilai daktilitas. Dapat dilihat pada gambar 4.58 terjadi keruntuhan besar pada jaket beton dan tulangan transversal mengalami deformasi. Ini mempengaruhi nilai gaya tekan maksimum kolom retrofit C.3.2.



Gambar 4.59 kolom retrofit C.3.3

Dari hasil pengujian kuat tekan, kolom retrofit C.3.3 mengalami peningkatan dari kolom asli C.3.3. Berdasarkan hasil perhitungan, kolom retrofit C.3.3 mengalami peningkatan nilai daktilitas yang tinggi. Dapat dilihat pada gambar 4.59 tulangan-tulangan transversal mengalami deformasi dan terdapat tulangan longitudinal yang mengalami patah. Ini mempengaruhi nilai gaya tekan maksimum dan peningkatan nilai daktilitas kolom retrofit C.3.3.



Gambar 4.60 kolom retrofit D.3.1

Dari hasil pengujian kuat tekan, kolom retrofit D.3.1 mengalami peningkatan gaya tekan maksimum dari kolom asli D.3.1 dengan nilai yang tidak jauh berbeda. Berdasarkan perhitungan kolom retrofit D.3.1 nilai daktilitas kolom retrofit mengalami peningkatan. Dapat dilihat pada gambar 4.60, jaket beton mengalami keruntuhan yang besar dan

terdapat tulangan longitudinal yang mengalami lepas. Ini mempengaruhi nilai gaya tekan maksimum dan nilai daktilitas kolom retrofit D.3.1.



Gambar 4.61 kolom retrofit D.3.2

Dari hasil pengujian kat tekan, kolom retrofit D.3.2 mengalami peningkatan gaya tekan maksimum dari kolom asli D.3.2. Berdasarkan perhitungan, kolom retrofit D.3.2 mengalami peningkatan nilai daktilitas. Nilai daktilitas kolom retrofit D.3.2 paling rendah daripada kolom retrofit D.3.1 dan D.3.3. Dapat dilihat pada gambar 4.61 kolom mengalami keruntuhan jaket beton yang besar dan terdapat tulangan transversal yang terlepas dan mengalami deformasi. Ini mempengaruhi nilai gaya tekan maksimum dan daktilitas kolom retrofit D.3.2.



Gambar 4.62 kolom retrofit D.3.3

Dari hasil pengujian kuat tekan, kolom retrofit D.3.3 mengalami peningkatan gaya tekan maksimum paling tinggi dari pada gaya tekan maksimum kolom D.31 dan kolom D.3.2. Berdasarkan hasil perhitungan, kolom retrofit D.3.3 mengalami peningkatan nilai daktilitas tertinggi daripada kolom retrofit D.3.1 dan D.3.2. Dapat dilihat pada gambar 4.62

terjadi keruntuhan pada jaket beton dan tulangan transversal mengalami lepas serta deformasi. Ini mempengaruhi nilai gaya tekan maksimum dan nilai daktilitas kolom retrofit D.3.3.





BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah didapatkan, maka diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan membandingkan kedua kolom retrofit dengan rasio tulangan yang sama, didapatkan hasil kolom retrofit dengan jumlah tulangan longitudinal 8 buah (B.3 dan D.3) mempunyai peningkatan gaya tekan yang lebih baik dari pada kolom retrofit dengan jumlah tulangan longitudinal 4 buah (A.3 dan C.3). Peningkatan gaya tekan kolom retrofit B.3 sebesar 60,38%, sedangkan peningkatan kolom retrofit A.3 yaitu 30,92%. Peningkatan gaya tekan kolom retrofit D.3 sebesar 29,58% sedangkan kolom retrofit C.3 mempunyai peningkatan gaya tekan sebesar 18,62%. Dapat disimpulkan bahwa penelitian tentang perkuatan pada kolom retrofit dengan metode *concrete jacketing* ini meningkatkan gaya tekan maksimum.
2. Kolom retrofit A.3 yang dipasang 4 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 1 x 1 cm dengan jarak antar sengkang sebesar 9,3 cm dan memiliki rasio tulangan longitudinal sebesar 1,23 % lebih efisien dibandingkan dengan kolom retrofit B.3 yang dipasang 8 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 1 x 0,5 mm dengan jarak antar sengkang sebesar 9,3 cm dan memiliki rasio tulangan sebesar 1,23%. Kolom retrofit B.3 memiliki gaya tekan maksimum 24,14 % lebih besar dibanding dengan gaya tekan maksimum kolom retrofit A.3. Nilai kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit B.3 lebih besar 26,18 % dibanding nilai kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit A.3. Kolom retrofit A.3 memiliki nilai daktilitas sebesar 39,3 dan kolom retrofit B.3 memiliki nilai daktilitas sebesar 44,3. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kolom retrofit B.3 lebih efisien dibandingkan dengan kolom retrofit A.3. Namun pada kolom retrofit C.3 yang dipasang 4 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 1 x 2 cm dengan jarak antar sengkang sebesar 9.3 cm dan memiliki rasio tulangan longitudinal sebesar 2,47% lebih efisien dibandingkan dengan kolom retrofit D.3 yang dipasang 8 buah tulangan longitudinal bambu dimensi 1 x 1 cm dengan jarak antar sengkang sebesar 9,3 cm dan memiliki rasio tulangan longitudinal sebesar 2,47%. Kolom retrofit D.3 memiliki gaya tekan maksimum 12,33 % lebih besar dibanding dengan gaya tekan maksimum kolom retrofit C.3. Nilai kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit D.3 lebih besar

14,90 % dibanding nilai kekakuan dan modulus elastisitas kolom retrofit C.3. Kolom retrofit C.3 memiliki nilai daktilitas sebesar 67,4 dan kolom retrofit D.3 yang mengalami penurunan daktilitas sebesar 28,6. Sehingga dapat disimpulkan kolom retrofit C.3 lebih efisien dibandingkan dengan kolom retrofit D.3. Hal ini dikarenakan pada saat proses pengecoran kolom retrofit D.3 material tidak sepenuhnya menyatu dengan kolom asli dan masih terdapat banyak rongga pada kolom yang mempengaruhi nilai daktilitas kolom tersebut.

3. Dari data – data penelitian yang telah didapatkan, dengan membandingkan kolom retrofit dengan rasio tulangan yang sama variasi jumlah tulangan longitudinal yang paling efektif adalah kolom retrofit dengan jumlah tulangan longitudinal 8 buah (B.3 dan D.3). Peningkatan gaya tekan, kekakuan, modulus elastisitas, dan daktilitas kolom retrofit akan lebih efektif apabila jumlah tulangan longitudinal diperbanyak.

5.2 Saran

Saran yang bisa diberikan peneliti untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut :

1. Penggunaan ukuran dimensi untuk kolom retrofit lebih diperbesar agar mudah dalam proses pengecoran sehingga material yang digunakan mudah dimasukkan ke bekisting. Hal ini bertujuan agar kolom benar-benar padat dan mengurangi rongga yang ada pada kolom retrofit. Dalam penelitian ini ukuran dimensi kolom retrofit terlalu kecil sehingga sulit memasukkan material pengecoran dan masih ada rongga dalam kolom retrofit yang mengharuskan dilakukan proses grouting untuk menutupi rongga tersebut.
2. Diperlukan metode shotcrete dengan cara menyemprotkan material ke bagian kolom yang masih terdapat rongga atau celah sehingga pengecoran menjadi seragam dan tidak ada rongga pada kolom retrofit.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional 2013. *Persyaratan Beton Bertulang untuk Struktur Bangunan Gedung. SNI 2847-2013*. Jakarta.
- Bowles, J.E. 1985. *Desain Baja Konstruksi*. Erlangga. Jakarta
- Dipohusodo, Istimawan. 1996. *Manajemen Proyek dan Konstruksi*. Kanisius. Yogyakarta.
- Frick, Heinz. 2004. *Ilmu Konstruksi Bangunan Bambu*. Kanisius. Yogyakarta.
- Ghavami, K. 2005. *Bamboo as Reinforcement in Structural Concrete Element*. Journal of Cement and Concrete Composites 27.
- Hongmei, Z, dkk. 2014. *Seismic and Power Generation Performance of U-Shaped Steel Connected PV-Shear Wall under Lateral Cyclic Loading*. International Journal of Photoenergy. Vol. 2014.
- McCormac, J.C. 2004. *Desain Beton Bertulang*. Jilid ke-1. Sumargo, penerjemah : Sinamarta L, editor. Jakarta: Penerbit Erlangga. Terjemahan dari : Design of Reinforced Concrete Fifth Edition.
- Morisco, M., dan Mardjono, F. 1995. *Kuat Tarik Berdasarkan Jenis Bambu*. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Mulyono, T. 2004. *Teknologi Beton*, Andi. Yogyakarta.
- Mustafa, S. 2010. *Karakteristik Sifat Fisika dan Mekanika Bambu Petung pada Bambu Muda, Dewasa, dan Tua (Studi Kasus: Bagian Pangkal)*. Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Navratilova, R., Wibowo, A. & Nainggolan, C.R. 2018. *Pengaruh Rasio Tulangan Longitudinal dari Metode Jacket Beton Bertulangan Bambu dengan Sengkang Baja pada Kolom Beton Bertulang*. Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil. Vol. 1 (1), 2018.
- Nawy, E.G. 1985. *Reinforce Concrete a Fundamental Aproach*. Mac Graw-Hill Book Company. Sidney.
- Nawy, E.G. 1990. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Erlangga. Jakarta.

- Nawy, E.G. 2008. *“Beton Bertulang – Suatu Pendekatan Dasar “*, PT.Refika Aditama. Bandung.
- Park, R.. 1988. *Ductility Evaluation from Laboratory and Analytical Testing*. New Zealand : Departement of Civil Engineering, University of Canterbury.
- Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI-1971)*. Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik. Bandung.
- Perdana, R.A., Nainggolan, C.R. & Wibowo, A. 2018. *Pengaruh Jarak Senggang dari Metode Jacket Beton Bertulang Bambu pada Kolom Bertulang Ringan*. Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil. Vol. 1 (1), 2018.
- Rudiyanto, R.P., Nainggolan, C.R. & Wibowo, A. 2018. *Pengaruh Jarak Senggang Baja dari Metode Jacket Beton Bertulangan Bambu pada Kolom Bertulangan Ringan*. Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil. Vol. 1 (1), 2018.
- SK SNI T-15-1991-03. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Bandung: LPMB Dep. Pekerjaan Umum RI.
- SNI 03-2847-2002. 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Tall, Lambert. 1974. *Struktur Steel Design*, 2nd Edition. The Ronald Press Company. New York.
- Wibowo, A. Hidayat., M.T. & Rochim, A. 2009. *Variasi Volume Tulangan Transversal dengan Inti Beton Terhadap Daktilitas Aksial Kolom Beton Bertulang*. Jurnal Rekayasa Sipil. Vol. 3 (3), halaman 181-191.
- Wijatmiko, I., Wibowo, A. & Remayanti, C. 2017. *The Effect of Polymer Coated Pumice to The Stiffness and Flexural Strength of Reinforce Concrete Beam*. MATEC Web of Conferences 101, 2017.
- Wonlele, T., Dewi, S.M. & Nurlina, S. 2013. *Penerapan Bambu Sebagai Tulangan Dalam Struktur Batang Beton Bertulang*. Jurnal Rekayasa Sipil. Vol.7 (1), halaman 1-12.

